

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



PROYECTO FIN DE GRADO

**MEJORA DEL SISTEMA DE CONTROL DE
DESCARGA DE CISTERNA DE ACIDOS**

**IMPROVEMENT OF THE ACID TANK DISCHARGE
CONTROL SYSTEM**

**PARA ACCEDER AL TÍTULO DE
GRADUADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL
Y AUTOMÁTICA**

AUTOR: SERGIO RODRÍGUEZ VALLE

JULIO -2021

INDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN.....	5
1.1	Motivación.....	5
1.2	Antecedentes.....	5
1.3	Resumen del proyecto.....	5
2	MODELADO DEL SISTEMA.....	7
2.1	Modelado del tanque.....	7
2.2	Modelado del sensor.....	9
2.3	Modelado de la bomba.....	10
2.4	Modelado del variador de frecuencia.....	12
3	ESPECIFICACIONES DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA.....	14
3.1	Tanque.....	14
3.2	Sensor.....	15
3.3	Bomba.....	17
3.4	Variador.....	20
3.5	Tuberías.....	22
3.6	Válvulas.....	23
4	SIMULACION EN MATLAB (SIMULINK).....	25
4.1	Previo a la simulación.....	25
4.2	Simulación.....	26
4.3	Resultados.....	37
5	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.....	43
5.1	Flujo del sistema.....	43
5.2	Representación gráfica del sistema.....	45
5.3	Inicialización.....	46
5.4	Posibles fuentes de error.....	46
5.5	Finalización.....	46
6	PRESUPUESTO.....	48
6.1	Material empleado en el proyecto.....	48
6.2	Salario de los trabajadores.....	48
6.3	Coste de equipos y sistemas.....	49
6.4	Presupuesto total.....	50
7	BIBLIOGRAFÍA.....	51
8	ANEXO A.....	52
9	ANEXO B.....	57

Índice de ilustraciones:

Ilustración1: Cálculo volumen cilindro horizontal.....	7
Ilustración2: Flujo salida tanque.....	8
Ilustración3: Modelado del sensor.....	9
Ilustración4: Curva bomba centrífuga.....	11
Ilustración5: Modelado del variador.....	13
Ilustración6: Tanque cisterna.....	14
Ilustración7: Sensor de nivel.....	15
Ilustración8: Especificaciones sensor.....	16
Ilustración9: Bomba centrífuga.....	17
Ilustración10: Características bomba.....	18
Ilustración11: Dimensiones bomba.....	19
Ilustración12: Variador de frecuencia.....	20
Ilustración13: Tuberías PVC.....	22
Ilustración14: Características tuberías.....	23
Ilustración15: Válvula de regulación.....	23
Ilustración16: Características válvula.....	24
Ilustración17-37: Bloques simulación en Matlab SIMULINK.....	26-36
Ilustración38-45: Gráficas de los resultados de la simulación.....	37-42
Ilustración46: Armario del variador de frecuencia.....	43
Ilustración47: Tanque depósito.....	44
Ilustración48: Dimensionado del sistema.....	45

DOCUMENTO 1: MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

1.1. MOTIVACIÓN

La elección del tema de este proyecto se debe a varios factores, que hicieron que me decantara por él para mi Trabajo de Fin de Grado:

- Puesta en práctica de conocimientos adquiridos durante mis estudios.
- Realización de un proyecto basado en un sistema real.
- Posibilidad de verificación en fábrica.
- Uso de conocimientos adquiridos en mi estancia de prácticas en empresa.

1.2. ANTECEDENTES

Para la realización de este proyecto me he valido de una gran cantidad de conocimientos adquiridos previamente, y durante mi estancia de prácticas:

- Estudios de grado de ingeniería electrónica y automática: los cuáles me han valido de punto de inicio a la hora de formarme en mi experiencia externa.
- Prácticas universitarias en Birla Carbon Spain: donde he aprendido el manejo de los variadores de frecuencia.
- Prácticas de empresa en Tycsa PSC: donde he adquirido nuevos conocimientos sobre descarga de ácido para su proceso de decapado químico.

1.3. RESUMEN DEL PROYECTO

Diseño de un circuito hidráulico con una bomba centrífuga regulada mediante un variador de frecuencia, que controle la velocidad de giro del motor asociado a la misma, y por tanto, el flujo del fluido que se quiere descargar.

El objetivo es obtener una mejora en el sistema de descarga de cisternas que tienen instalado tanto la empresa *Birla Carbon Spain* como *GLOBAL STEEL WIRE Tycsa*, en las que he desarrollado mis prácticas académicas, con tres y seis meses de duración respectivamente.

Lo observado en las empresas fue que, a la hora de realizar la descarga, el sistema necesitaba aumentar la velocidad de succión sobre todo en los momentos finales, cuando el nivel del tanque era bajo.

Añadiendo un sistema sensorial que nos permita conocer el nivel de llenado de la cisterna, podemos controlar en función de esta información, un variador de frecuencia que nos permita aumentar o disminuir la velocidad de succión de la bomba.

Sergio Rodríguez Valle

El sistema será autosuficiente, es decir, no requerirá de actuación externa una vez se inicialice, más allá de la necesaria para conectar la manguera de descarga a la cisterna.

Esto permitirá disminuir los tiempos de descarga, a la vez que asegura un control total del proceso, evitando posibles bajadas de rendimiento de la bomba centrífuga.

Se instalará también una seta de emergencia para la parada manual del proceso, si esta fuera necesaria. El sistema realiza una comprobación del volumen restante del tanque cisterna, y detiene la descarga cuando este es prácticamente nulo, con indicación de alarma de final de proceso para indicar que ya se puede retirar la conexión entre la cisterna y la tubería de aspiración.

Design of a circuit with a pump regulated by a frequency inverter, which controls its flow.

The objective is to obtain an improvement in the tank discharge system that the companies, in which I have developed my curricular practices, have currently installed.

What was observed in the company was that, when discharging, the system needed to increase the suction speed, especially in the final moments, when the tank level was low.

By adding a sensory system that allows us to know the level of the tank, we can control a frequency variator that allows us to increase or decrease the suction speed of the pump.

The system will be self-sufficient, and will not require external action, beyond that necessary to connect the discharge hose to the tank.

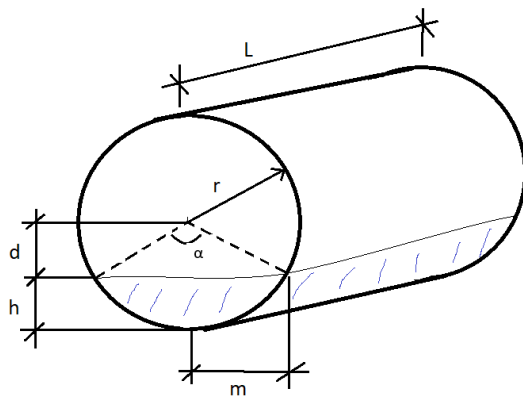
This will reduce discharging times, while ensuring total control of the process.

The system makes a constantly check of the remaining volume in order to stop the process when it is practically null.

2. MODELADO DEL SISTEMA

2.1. MODELADO DEL TANQUE

-Volumen cilindro horizontal:



$$r = d + h$$

$$d = r - h$$

$$\frac{\alpha}{2} = \cos^{-1}\left(\frac{r-h}{r}\right)$$

$$A_{sector} = \frac{\alpha}{2} r^2 = \cos^{-1}\left(\frac{r-h}{r}\right) r^2$$

$$A_{triang.} = 2m(r-h) = (r-h)(\sqrt{2rh-h^2})$$

Ilustración 1

$$A_{segmento} = \cos^{-1}\left(\frac{r-h}{r}\right) r^2 - (r-h)(\sqrt{2rh-h^2})$$

Si $h < r$:

$$V_s = [\cos^{-1}\left(\frac{r-h}{r}\right) r^2 - (r-h)(\sqrt{2rh-h^2})]L$$

Si el volumen se encuentra por encima de la mitad del cilindro, se calcula el volumen vacío y se le resta al total.

Si $h \geq r$:

$$V = V_{cil} - V_s$$

Referencia [1]

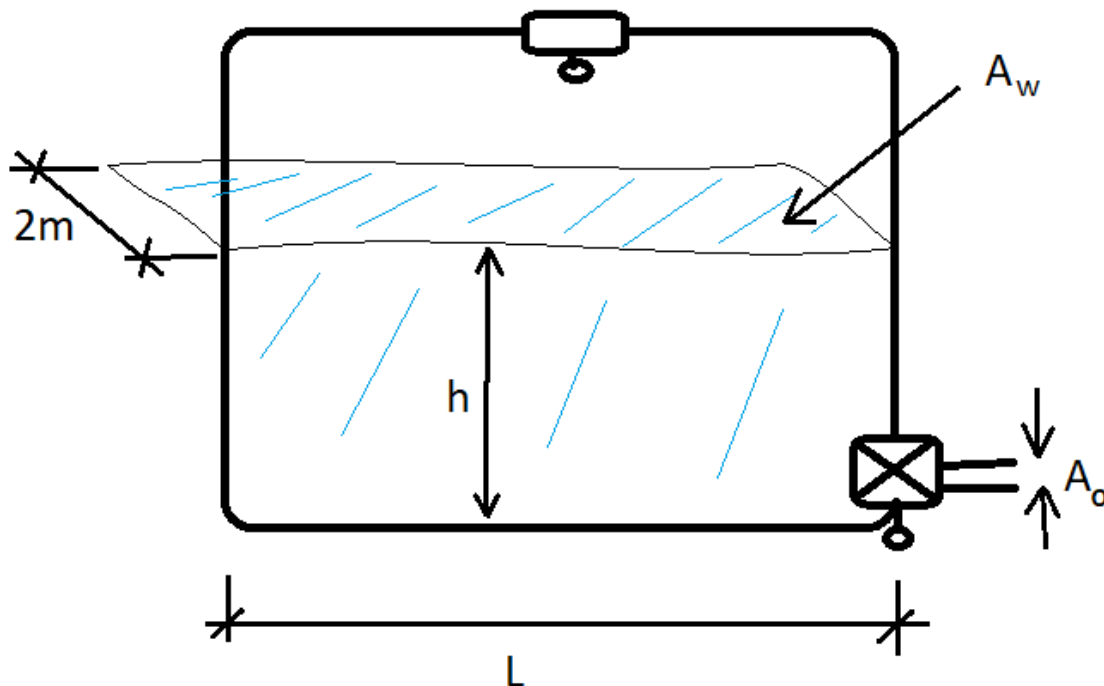


Ilustración 2

-La velocidad de flujo de salida (v) a través de un orificio en un lateral o en el fondo de un tanque lleno hasta una altura (h), es $\sqrt{2gh}$, siendo g = aceleración de la gravedad.

Esto viene de igualar la energía cinética a la potencial, y despejar v .

$$\frac{mv^2}{2} = mgh \rightarrow v = \sqrt{2gh}$$

-Si el área transversal del agujero es A_o , y la velocidad de salida del líquido es $\sqrt{2gh}$, el volumen de agua que sale del tanque por segundo es $A_o\sqrt{2gh}$.

Si $V(t)$ representa el volumen de agua en el tanque en cualquier momento t :

$$\frac{dV}{dt} = -A_o\sqrt{2gh}$$

-Para cilindro recto:

$$V(t) = A_w \cdot h \rightarrow \frac{dV}{dt} = A_w \frac{dh}{dt} \rightarrow \frac{dh}{dt} = -\frac{A_o}{A_w} \sqrt{2gh} \rightarrow h = f(t) = \left[\sqrt{h_{\text{máx}}} - \frac{A_o}{A_w} \sqrt{\frac{g}{2}} t \right]^2$$

2.2. MODELADO DEL SENSOR

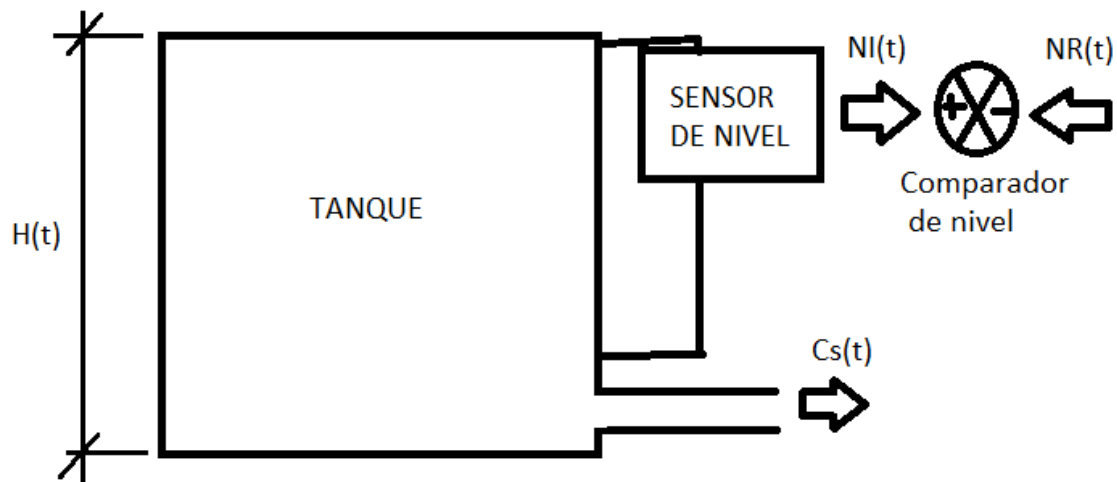


Ilustración 3

- $H(t)$ representa el nivel del líquido en un instante (t).
- El nivel del tanque se mide con un sensor que entrega una señal representada en un voltaje $NI(t)$ al comparador de nivel, este tiene un valor de referencia $NR(t)$ representado en un voltaje predeterminado.
- El sensor de nivel es de respuesta lineal $NI(t)$ con una tensión constante T_n por cada metro de líquido $H(t)$.

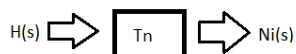
$$NI(t) = T_n \cdot H(t)$$

- El comparador de nivel y voltaje responden entregando tensiones de salida $Ns(t)$

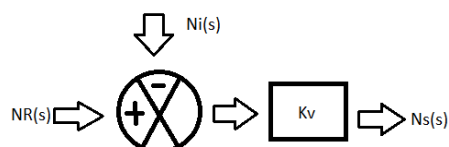
$$Ns(t) = K_v \cdot [NR(t) - NI(t)]$$

- K_v = cte linealidad sensor de nivel
- $NR(t)$ = valor referencia del nivel
- $NI(t)$ = señal entregada por sensor

- Bloque funcional sensor de nivel:



- Bloque funcional para comparador de nivel:



Referencia [2]

2.3. MODELADO DE LA BOMBA

-Para nuestro sistema usaremos una Bomba de tipo Centrífuga.

-Las bombas centrífugas transforman la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete, en energía cinética y potencial requerida.

-Los elementos constructivos que la conforman son:

- Una tubería de aspiración.
- El impulsor o rodete, formado por una serie de álabes de diversas formas que giran dentro de una carcasa circular. El rodete va unido sólidamente al eje, y es la parte móvil e la bomba.

El fluido entra por el centro del rodete, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba, que por el contorno de su forma lo conduce hacia las tabuladoras de salida o hacia el siguiente rodete.

-El comportamiento de este tipo de bombas lo podemos describir por medio de sus curvas características que relacionan principalmente el caudal, la altura manométrica y la velocidad de giro.

-Modelo matemático: (variación curvas características / velocidad rotación)

- La altura manométrica y el caudal varían según la velocidad de rotación:

$$\frac{q}{q'} = \frac{n}{n'} \quad ; \quad \frac{H_m}{H'_m} = \frac{n^2}{n'^2}$$

- La ley de variación de H_m , q y n , viene a su vez definida por la ecuación de las curvas características:

$$H_m = A - Bq - Cq^2$$

- Donde A y B son:

$$A = \frac{u_2^2}{g} \quad , \quad u_2 = \frac{\pi D_2 n}{60} \quad , \quad A = \frac{1}{g} \left(\frac{\pi D_2 n}{60} \right)^2 = C_1 n^2;$$

$$C_1 = \frac{\pi^2 D_2^2}{3600 g} = 2.7975 \times 10^{-4} D_2^2$$

$$B = \frac{\cotg \beta_2 u_2^2 \pi D_2 n}{g k_2 \Omega_2 60} = C_2 n \quad ;$$

$$C_2 = \frac{\pi D_2 \cotg \beta_2}{60 g k_2 \Omega_2} = 5.3428 \frac{D_2 \cotg \beta_2}{k_2 \Omega_2}$$

- Por lo que el valor de H_m se obtiene de la forma:

$$H_m = C_1 n^2 - C_2 n q - C q^2$$

- Que es la ecuación de las curvas características, en la que C_1 y C_2 son constantes para cada bomba y C es otra constante propia de la bomba e independiente de la velocidad de giro.

-El modelo matemático que describe el comportamiento de la bomba centrífuga, es una ecuación de segundo orden (ec. Anterior) que nos muestra que para conocer la ecuación que describe una planta en común, es necesario conocer unas constantes que normalmente son dadas por el fabricante, sin embargo, a veces estos datos no se hallan en la hoja de características de las bombas, por lo que se debe realizar ensayos en la planta donde se halle la bomba para poder calcular la ecuación más aproximada.

La idea es obtener una serie de puntos, normalmente que forman una curva, que relacionan la altura manométrica con el caudal (H_m , Q).

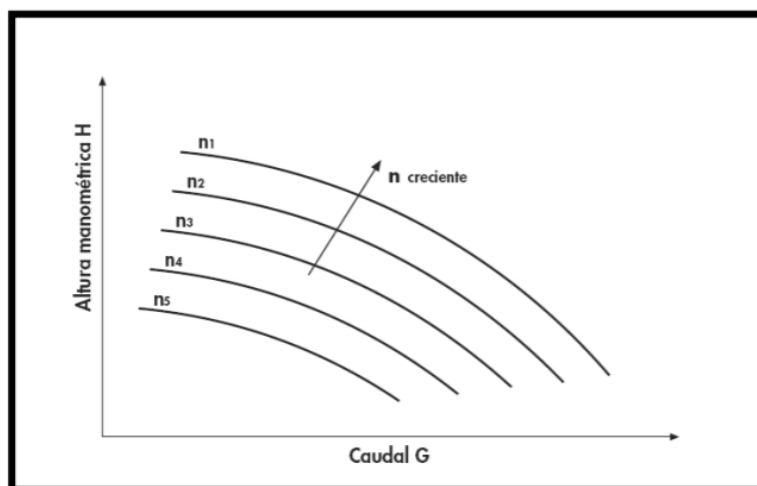


Ilustración 4

Referencia [3]

2.4. MODELADO DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

- Es un dispositivo que toma un Voltaje y Frecuencia fijos de corriente alterna y la convierte en un Voltaje y Frecuencia variables, los cuales son usados para el control de la velocidad de un motor.
Esta fuente variable posibilita que el motor de inducción opere a varias velocidades aproximadamente con el mismo funcionamiento de diseño a su velocidad nominal. No obstante, lo que realmente posibilita el cambio de velocidad, es el cambio de frecuencia.

- La fórmula para calcular la velocidad nominal sincrónica de rotación en un motor de inducción es:

$$RPM = 120 \frac{F}{P}$$

F=frecuencia de red(Hz)
P=número de polos

- Debido a que el número de polos permanece constante, cualquier cambio que se realice en la frecuencia de alimentación del motor causará una variación en la velocidad del motor.
- Para conocer las características de funcionamiento del motor, al mismo tiempo que se manipula la frecuencia, es necesario hacer un cambio en la tensión de alimentación para mantener constante la relación Voltio/Hz de diseño. La relación adecuada puede ser calculada tomando los valores de voltaje y frecuencia de la placa de características y dividiéndolos. Ej: $460V/60Hz = 7.66 \text{ V/Hz}$

-Modelo Matlab-Simulink:

El regulador Tensión/Frecuencia (V/F) usado en motores de inducción es en gran medida el método más popular en reguladores de velocidad debido a su simplicidad y a que este tipo de regulador se utiliza extensamente en la industria. Tradicionalmente, los motores de inducción se usaban en lazo abierto con fuentes de alimentación de 50 Hz para aplicaciones de velocidad constante, siendo normal, para aplicaciones de velocidad variable, un control de frecuencia, sin embargo, el voltaje requerido tiene que ser proporcional a la frecuencia para que el flujo ($\psi_n = V_n / \omega_e$) permanezca constante.

La figura muestra un diagrama de bloques de un método de regulación tensión/frecuencia. El circuito de potencia consiste en un puente rectificador de diodos, un filtro LC y un inversor de voltaje PWM. La frecuencia ω_e^* es la variable primaria del regulador porque es aproximadamente igual a la velocidad ω_r , descuidando la pequeña frecuencia del deslizamiento ω_{sl} de la máquina. El comando voltaje de fase V_n^* es directamente generado desde el comando de frecuencia por el factor de ganancia G, de modo que el flujo ψ_n siga siendo constante.

Si se desprecia la resistencia e inductancia del estator de la máquina, el flujo también corresponderá al flujo del entrehierro ψ_m o del rotor ψ_r . Mientras que la frecuencia es pequeña a velocidades bajas, la resistencia del estator tiende a absorber la principal cantidad del voltaje del estator, con lo que se produce un debilitamiento del flujo por eso se agrega un voltaje V_0 de modo que el flujo y el par máximo correspondiente se conviertan en constante y disponible a velocidad cero. También se puede observar que el efecto del aumento del voltaje llega a ser insignificante en frecuencias más altas.

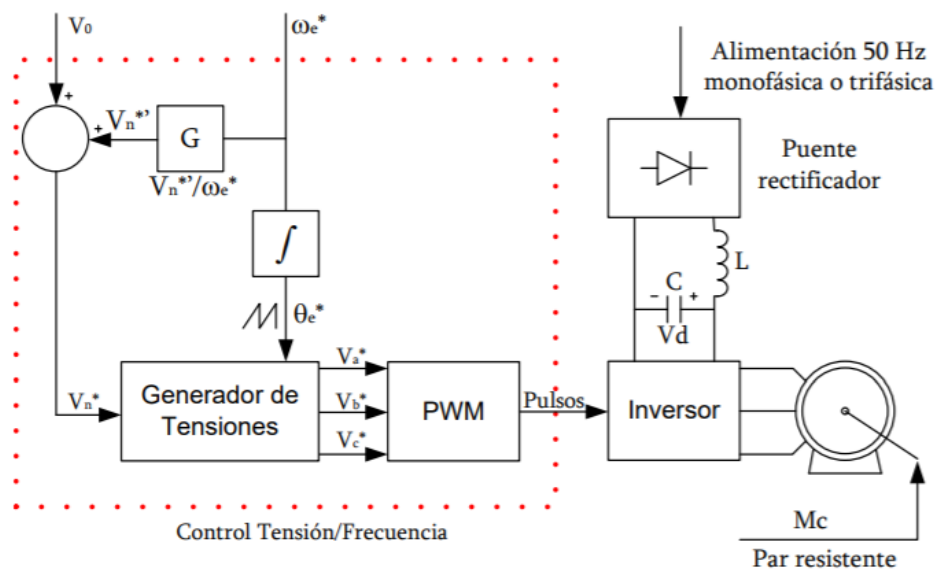


Ilustración 5

Para obtener el ángulo θ_e^* que proporcionara la señal sinusoidal es necesario integrar la señal de velocidad ω_e^* siendo generados los voltajes correspondientes por fase (V_a , V_b , V_c) por las ecuaciones siguiente. También se dispone del regulador PWM.

$$V_a^* = \sqrt{2}V_n \sin \theta_e$$

$$V_b^* = \sqrt{2}V_n \sin \left(\theta_e - \frac{2\pi}{3} \right)$$

$$V_c^* = \sqrt{2}V_n \sin \left(\theta_e + \frac{2\pi}{3} \right)$$

Referencia [4]

3. ESPECIFICACIONES DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

3.1. TANQUE

Un semi-remolque cisterna típico tiene una longitud de 6 metros, y un diámetro de 3 metros. El grosor de la cisterna usualmente es de 0,199 pulgadas (5 milímetros). Estas son las dimensiones compatibles con las normas ISO.

Este camión cisterna típicamente tiene un volumen de 42.41 m^3 . Estas dimensiones también son compatibles con las normas ISO.

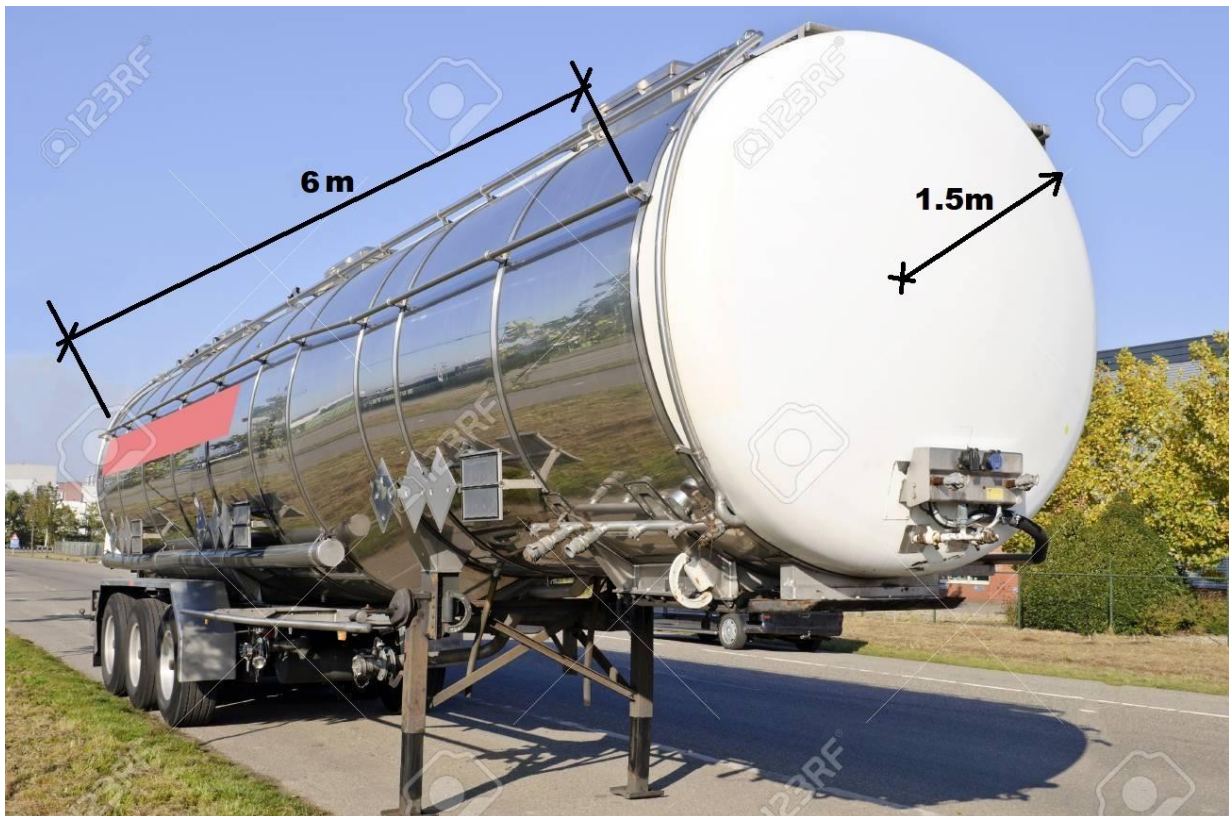


Ilustración 6

3.2. SENSOR

Para el control del nivel del tanque, hemos escogido la sonda de nivel SIEMENS 7ML5221-1BB11, PBT, 20mA, que podemos encontrar en la página “es.rs-online.com”, ya que se ajusta a las necesidades de nuestro sistema.

Referencia [5]



Ilustración 7

-Datos del producto:

El transductor de nivel ultrasónico Siemens es un transmisor ultrasónico HART inteligente alimentado por bucle y de 2 cables. Se utiliza para el control de nivel, volumen y flujo de líquidos en recipientes de almacenamiento y recipientes de procesos sencillos, así como en canales abiertos. Su inteligencia proporciona una medición fiable y repetible. Se puede programar a través del programador portátil intrínsecamente seguro de infrarrojos, SIMATIC PDM o comunicador HART.

Características y ventajas:

- Instalación sencilla y arranque sencillo
- Caja: Plástico con una cantidad de 2 x M20x1,5
- La gama es 6m y el material del sensor es copolímero de PVDF
- Conexión del proceso: 2in BSP
- Comunicación: Salida HART 4mA a 20mA
- Medición continua de nivel hasta el rango de 12m
- Procesamiento de señal de inteligencia sónica patentado
- Relación señal/ruido alta externa
- Supresión automática de eco falso para evitar obstrucciones fijas
- Pantalla LCD alfanumérica multilingüe con protección UV
- Compensación de temperatura incorporada
- la carcasa giratoria de 360° se alinea con el conducto para facilitar el cableado
- La temperatura de funcionamiento oscila entre -40 °C y 85 °C.

Aplicaciones:

Es adecuado para aplicaciones de agua, aguas residuales, alimentos y sustancias químicas.

Certificaciones:

- Certificación CE
- Índice de protección IP67/8 (hasta 2m para 24 horas)

-Especificaciones:

Atributo	Valor
Tipo de Dispositivo	Ultrasonic
Material del Cuerpo	PBT
Temperatura de Funcionamiento Mínima	-40°C
Temperatura de Funcionamiento Máxima	+85°C
Corriente Máxima	20 mA
Serie	SITRANS

Ilustración 8

3.3. BOMBA

En cuanto a la bomba a utilizar, he seleccionado la misma bomba centrífuga que utilizan en la empresa GLOBAL STEEL WIRES Tyrsa.

Se trata de una bomba de la marca ARBO, en concreto es el modelo KR-40-125-IEC90L.

Referencia [6]



Ilustración 9

-Características:

Technical details pumps	
Design pressure	PN4
Design standard (BG5)	DIN 24.256 - EN 22585 - ISO 2858
Max. system pressure	1.5 Bar with standard seal, 6 Bar optional
Min. flow	1 m ³ /h
Max. flow	50 m ³ /h
Max. head	45 m (60 Hz)
Max. viscosity	500 mPas
Max. solid size	2 mm
Technical details motors	
Standard	Three-phase, multivoltage, TEFC
High efficiency	IE2 efficiency level acc. IEC60034-30
Continuous duty	S1
Multi Voltage up to IEC100	220-240/380-415V 50 Hz // 440-460 V 60 Hz
Multi Voltage above IEC100	380-415V/ 660V 50 Hz // 440-460 V 60 Hz
Protection class	IP55 (IEC 34-5/ NEN-EN 60034-5)
Insulation Class	"F" ($\Delta T=80$ C);
Max. ambient temperature	-30 to 40°C, at 1000 m.a.s.l.
Max. relative humidity	< 95%
Optional available	
Other voltages	f.i. 480 V/ 3 Ph/ 60 Hz
Other insulation	f.i. Tropicalized
PTC Thermistors	on windings
Water and/or dust protection:	IP56, IP65, IP66, IPW56, IPW65 or IPW66

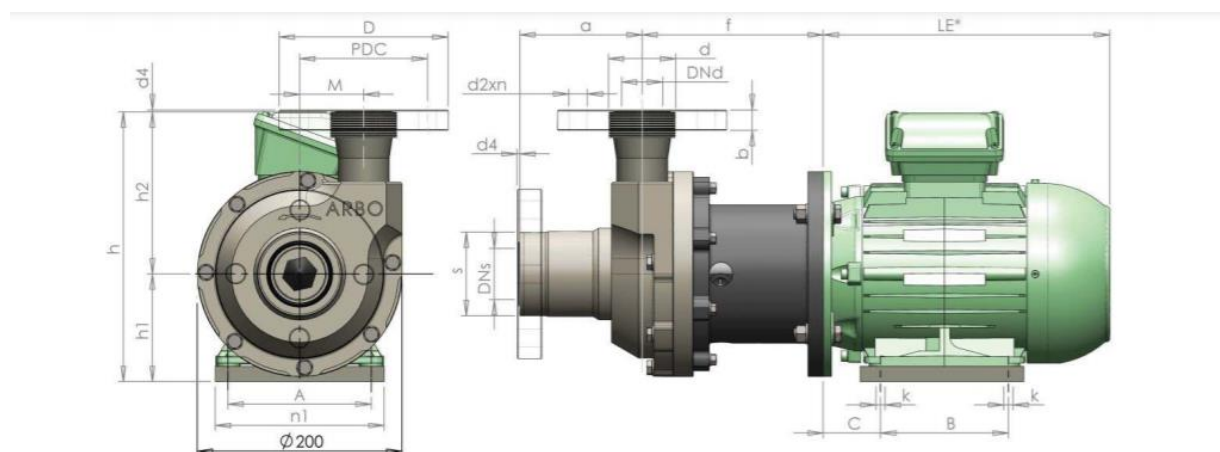
Materials of construction	Abbreviation	T min. °C	T max. °C
Polypropylene	PP	0	80
High Modulus Polyethylene	HMPE	-50	80
Polyvinylidenefluoride	PVDF	-30	120
Polytetrafluorethene	PTFE	-30	120

Materials of elastomers	Abbreviation	T min. °C	T max. °C
EPDM	E	-40	150
Viton	V	-25	220
Polytetrafluorethene	T	-190	260

Materials of connections	Abbreviation
Male straight pipe thread	R
DIN2501 PN10 Flanges	F
3-D Unions +GF+	U

Ilustración 10

-Dimensiones:



KR	Motor	Dimensions pump without motor (mm) *										Impeller Ø mm		Pump KG*		Box size
type	IEC	a	h1	h2	h	M	DNd	d**	DNs	s**	f	Min.	Max.	PP/PE	PVDF	CM
15-85	63M	69	71	102	173	46	15	1"	15	1"	117	70	85	2,5	3	43x32x27
20-85	63M	66	71	124	195	46	20	1 1/4"	20	1 1/4"	117	70	85	2,5	3	43x32x27
25-95	71M	74	86	127	213	46	25	1 1/2"	25	1 1/2"	117	70	95	2,5	3	43x32x27
32-95	71M	74	86	127	213	46	32	2"	32	2"	117	70	95	2,5	3	43x32x27
40-40-125***	80M	120	105	158	263	63	40	2 1/4"	40	2 1/4"	177	85	125	5	6	81x41x42
40-125	80M	120	105	158	263	63	40	2 1/4"	50	2 3/4"	177	85	125	5	6	81x41x42
40-125	90S	120	105	158	263	63	40	2 1/4"	50	2 3/4"	177	85	125	5	6	81x41x42
40-125	90L	120	105	158	263	63	40	2 1/4"	50	2 3/4"	177	85	125	5	6	81x41x42
40-40-125***	90L	120	105	178	283	63	40	2 1/4"	40	2 1/4"	177	85	125	5	6	81x41x42
40-40-125***	100L	120	132	178	310	63	40	2 1/4"	40	2 1/4"	197	85	125	7	8	81x41x42
50-125	90S	120	105	160	265	63	50	2 3/4"	65	2 3/4"	177	85	125	5	6	81x41x42
50-125	90L	120	105	160	265	63	50	2 3/4"	65	2 3/4"	177	85	125	5	6	81x41x42
50-125	100L	120	132	160	292	63	50	2 3/4"	65	2 3/4"	197	85	125	7	8	81x41x42

Ilustración 11

-Descripción:

Válida para todo transporte o circulación de líquidos corrosivos, incluso de alta viscosidad, con la máxima eficiencia.

Esta serie de bombas está equipada con un impulsor semiabierto de última generación con liberación de presión. Este fijado al eje independiente del sentido de giro.

3.4. VARIADOR

Para el Convertidor de frecuencia, he seleccionado 'VLT Refrigeration Drive FC 103' de la marca Danfoss, ya que es la marca con la que más he trabajado en mi estancia de prácticas de empresa en Birla Carbon Spain.

Referencia [7]



Ilustración 12

-Vista General:

El VLT Refrigeration Drive FC 103 está diseñado para contribuir a reducir notablemente los gastos durante la vida útil de sus sistemas de refrigeración. Ofrece características que mejoran el rendimiento y la fiabilidad, funciones integradas de control de proceso y un entorno de puesta en marcha diseñado específicamente para satisfacer las necesidades de las aplicaciones de refrigeración. También cuenta con un asistente de instalación que emplea condiciones comunes de refrigeración. De este modo, la instalación y la puesta en marcha resultan sencillas y seguras para los técnicos e instaladores de la refrigeración.

El control de velocidad variable continuo ofrecido por VLT Refrigeration Drive hace que el control de capacidad inteligente sea posible. Con la creación de estabilidad durante el equilibrado de la capacidad a la carga real, el coeficiente de rendimiento de todo el sistema mejora, lo que proporcionará significantes ahorros de energía en una amplia gama de aplicaciones.

El convertidor de frecuencia contiene todos los módulos necesarios para cumplir las normas CEM. El filtro RFI integrado y escalable reduce al mínimo la interferencia electromagnética y las reactancias de enlace de CC disminuyen la distorsión armónica en la red de alimentación. Como estas funciones están integradas de serie en el convertidor de frecuencia, el espacio del armario puede reducirse. Una mitigación EMC eficaz también permite la utilización de cables con secciones transversales menores, que reducen los gastos de instalación.

Tensiones de alimentación y gama de potencias

3 x 200-240 V a 1,1-45 kW

3 x 380-480 V a 1,1-560 kW

3 x 525-600 V a 1,1-7,5 kW

3 x 525-690 V a 75-800 kW

-Características y ventajas:

El consumo energético y los requisitos de mantenimiento se reducen gracias a una gama de funciones de bombeo, como el controlador en cascada de bomba y la compensación de caudal.

La eficiencia óptima del sistema se alcanza aprovechándose de las características del software del convertidor de frecuencia

Los entornos exigentes no son un problema debido a los componentes electrónicos barnizados del convertidor de frecuencia

Se evita la necesidad de refrigeración externa o sobredimensionamiento, dado que el convertidor de frecuencia funciona de modo eficaz a una temperatura ambiente máxima de 50 °C sin reducción de potencia

No existen preocupaciones sobre la CEM gracias a los filtros de CEM y armónicos integrados en el enlace de CC

3.5. TUBERIAS

-En cuanto a las tuberías empleadas en nuestro sistema, hemos escogido unas similares a las que tienen instaladas en fábrica, siendo éstas tubos de PVC.

Referencia [8]

El PVC rígido resiste el ataque de la mayoría de ácidos diluidos y concentrados, hidróxidos, así como todas las disoluciones salinas. Además, es resistente a los aceites minerales, vegetales, de paratina, alcoholes hidrocarburos alifáticos y ácidos grasos.

-El sistema contará con 3 de estas tuberías: una de ellas será la que conecte nuestro tanque con la bomba, que tendrá un DN(diámetro nominal) de 50mm, y la otras dos estarán a la salida de la misma, formando un ángulo recto para llevar el fluido a la parte superior del depósito, ambas con DN=40mm.



Ilustración 13

-Características del producto:

diametro nominal	diametro exterior	pn 2,5 espesor	pn-4 espesor	pn-6 espesor	pn-10 espesor	pn-16 espesor	pn-20 espesor
10	16						1.5
15	20					1.5	1.9
20	25					1.9	2.3
25	32					2.4	2.9
32	40				1.9	3.0	3.7
40	50				2.4	3.7	
50	63				3.0	4.7	
65	75			2.3	3.6	5.6	
80	90			2.8	4.3	6.7	
100	110			3.7	4.8	8.0	

Ilustración 14

3.6. VALVULAS

-Nuestro sistema consta de dos válvulas que se ubican tanto a la salida como a la entrada del tanque. La válvula de salida sólo tendrá dos posiciones, que será totalmente abierta o cerrada, ya que con ella no pretendemos manipular el caudal, sino simplemente permitir el flujo de descarga.

He escogido la "Válvula de regulación 3531" de la marca SAMSON. Se trata de una válvula de globo de accionamiento eléctrico.

Referencia [9]



Ilustración 15

Al igual que la tubería, he encontrado este producto en la página de directindustry.es en el apartado de Hidraulica-Neumática.

-Características del producto:

Tipo	de globo
Accionamiento	eléctrica
Función	de regulación
Medios	para aceite
Cuerpo	de brida
Otras características	DIN, de baja presión, con junta de fuelle
Temperatura	Mín.: -70 °C (-94 °F) Máx.: 350 °C (662 °F)
Presión	Mín.: 16 bar (232,1 psi) Máx.: 25 bar (362,6 psi)
DN	Mín.: 15 mm (0,591 in) Máx.: 80 mm (3,15 in)

Ilustración 16

4. SIMULACION EN MATLAB (SIMULINK)

4.1. PREVIO A LA SIMULACIÓN

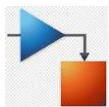
-Para el apartado de simulación de nuestro sistema, he empleado la herramienta de SIMULINK del programa Matlab.



-**Matlab** es un programa de gran aceptación en ingeniería destinado a realizar cálculos técnicos científicos y de propósito general. En él se integran operaciones de cálculo, visualización y programación, donde la interacción con el usuario emplea una notación matemática clásica.

El tipo básico de variable con el que trabaja Matlab es una matriz que no requiere ser dimensionada previamente a la declaración. Archivos con extensión “.m”.

-**Simulink** es una aplicación que permite construir y simular modelos de sistemas físicos y sistemas de control mediante diagramas de bloques. El comportamiento de dichos sistemas se define mediante funciones de transferencia, operaciones matemáticas, elementos de Matlab y señales predefinidas de todo tipo.



Simulink dispone de una serie de utilidades que facilitan la visualización, análisis y guardado de los resultados de simulación. Es empleado profundamente en ingeniería de control.

Los archivos que genera Simulink tienen la extensión “.mdl” (de “model”).

4.2. SIMULACIÓN

- Esquema general:

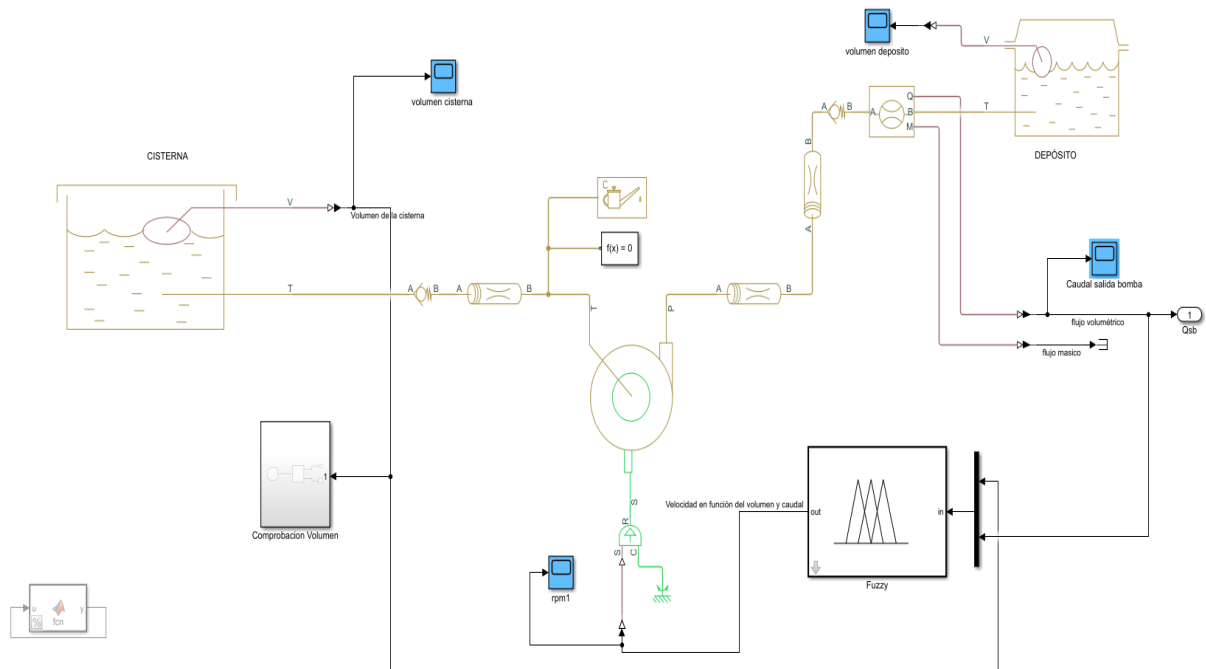


Ilustración 17

- Tanque Cisterna:

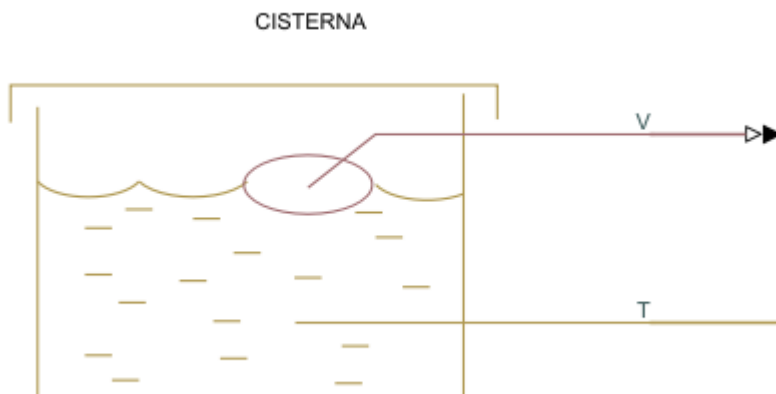


Ilustración 18

Este es el primer bloque del proceso.

Como vemos el bloque cuenta con una señal de lectura del Volumen actual del tanque en cada instante, y otra salida que representa la parte hidráulica, donde conectaremos la tubería y el resto de componentes hidráulicas.

A continuación se muestran los valores definidos para el tanque en cuestión:

Block Parameters: CISTERNA
✕

Tank

This block models a storage tank with a constant pressurization and a selectable number of inlets. To modify the number of inlets, right-click on the block and select Simscape block choices.

The block accounts for the fluid level change caused by the volume variation and pressure loss in the connecting pipe that can be caused by a filter, fittings, or some other local resistance. The loss is specified with the pressure loss coefficient.

Port T in the One inlet and port A in the Two or Three inlets block choices are the hydraulic conserving port associated with the tank inlet. Ports B and C are additional hydraulic conserving ports associated with the optional additional tank inlets. Physical signal output V reports the fluid volume in the tank. The flow rate is considered positive if fluid flows into the tank.

Settings

Parameters
Variables

Pressurization:	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="Pa"/>
Tank volume parametrization:	<input type="text" value="Tabulated data - Volume vs. level"/>	
Fluid volume vector:	<input type="text" value="V"/>	<input type="text" value="m^3"/>
Fluid level vector:	<input type="text" value="H"/>	<input type="text" value="m"/>
Interpolation method:	<input type="text" value="Linear"/>	
Extrapolation method:	<input type="text" value="Linear"/>	
Inlet pipeline diameter:	<input type="text" value="0.05"/>	<input type="text" value="m"/>
Pipeline pressure loss coefficient:	<input type="text" value="1.2"/>	
Acceleration due to gravity:	<input type="text" value="9.80665"/>	<input type="text" value="m/s^2"/>
Minimum level of fluid:	<input type="text" value="1e-3"/>	<input type="text" value="m"/>
Check if fluid level violating minimum valid condition:	<input type="text" value="Warning"/>	

Ilustración 19

Se puede observar que para determinar la forma y volumen del tanque, el bloque nos pide definir dos vectores, volumen y altura, que usará para generar por interpolación las dimensiones reales de nuestro tanque cisterna (cilindro tumbado).

Estos vectores, llamados en nuestro sistema V y H, vendrán definidos más adelante.

Settings

Parameters
Variables

Override	Variable	Priority	Beginning Value	Unit
<input checked="" type="checkbox"/>	Fluid volume	<input type="text" value="High"/>	<input type="text" value="39.05"/>	<input type="text" value="m^3"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Fluid level	<input type="text" value="None"/>	<input type="text" value="2.6"/>	<input type="text" value="m"/>

Ilustración 20

Sergio Rodríguez Valle

En la pestaña variables, definimos las condiciones iniciales del sistema.

Para la simulación, éstas dos variables las definiremos manualmente en este bloque del tanque cisterna.

En el modelo real, la señal de altura del tanque vendrá dada por nuestro sensor de nivel instalado.

- **Salida del tanque:**

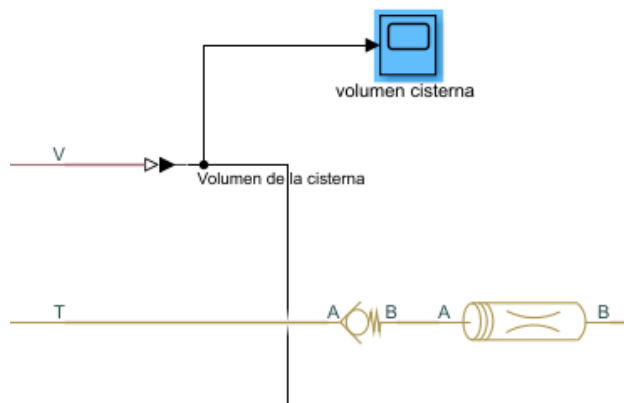


Ilustración 21

A la salida del tanque cisterna tenemos conectada, por la parte hidráulica, la tubería de aspiración, así como una válvula de no retorno, que solo permite el flujo en una dirección.

Por la otra señal hemos conectado un Scope que nos mostrará la variación del volumen a lo largo del proceso.

A continuación se detallan los parámetros de la tubería mostrada:

Settings		
Basic Parameters	Vertical Position	Variables
Pipe cross section type:	Circular	
Internal diameter:	0.05	m
Laminar friction constant for Darcy friction factor:	64	
Pipe length:	5	m
Aggregate equivalent length of local resistances:	1	m
Internal surface roughness height:	15e-6	m
Laminar flow upper Reynolds number limit:	2000	
Turbulent flow lower Reynolds number limit:	4000	

Ilustración 22

- **Bomba:**

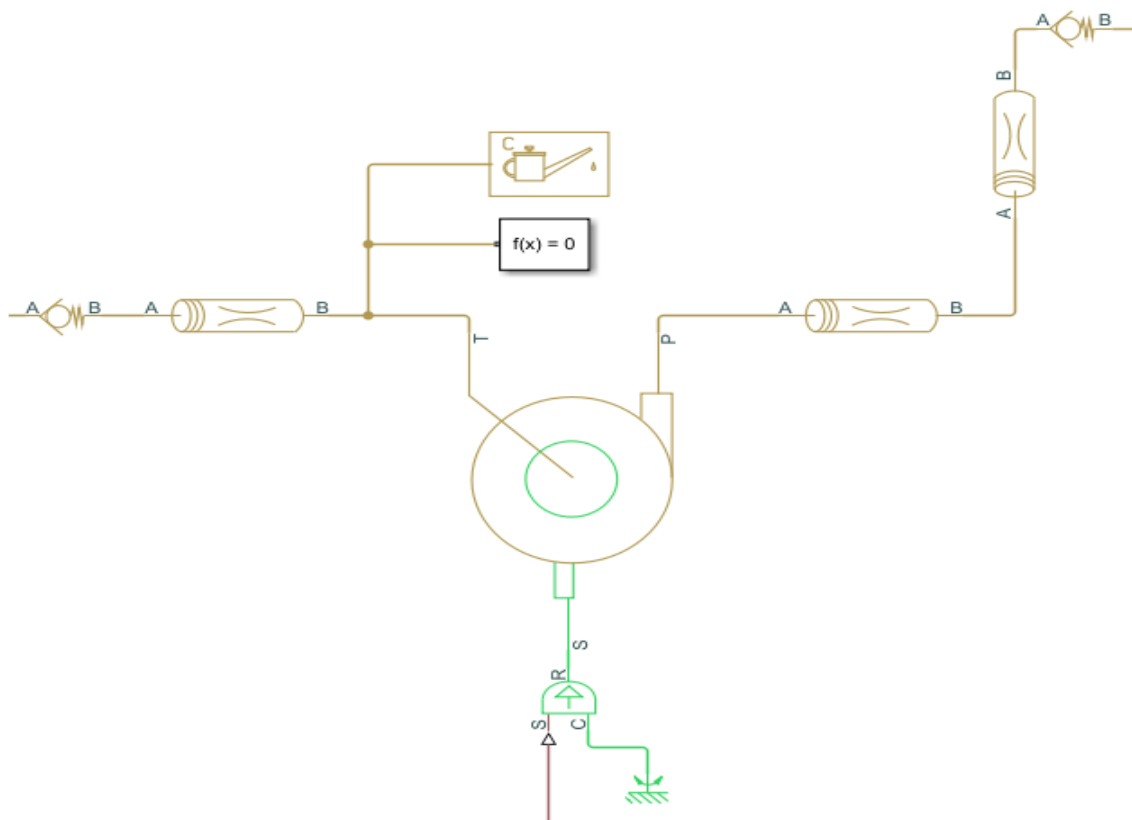


Ilustración 23

En este tramo de la bomba, podemos observar el bloque de una bomba centrífuga que cuenta con dos señales hidráulicas, una de entrada T, y una de salida P.

Además, consta de una segunda señal de entrada que hace referencia a la velocidad angular dada en r.p.m.

Por la señal hidráulica de entrada tenemos la válvula más tubería previamente mostradas, a las que se ha conectado un bloque para definir las características del fluido que va a pasar por todo el sistema.

Custom Hydraulic Fluid

The block assigns fluid properties for all components assembled in a particular loop. The loop detection is performed automatically and the block is considered as part of the loop if it is hydraulically connected to at least one of the loop components. If no Hydraulic Fluid block is connected to the loop, the default properties of the Custom Hydraulic Fluid block are assigned.

[Source code](#)

Settings

Parameters

Fluid density:	1149	kg/m ³
Kinematic viscosity:	0.0017/1149	m ² /s
Bulk modulus at atm. pressure and no gas:	200	Pa
Relative amount of trapped air:	0.005	
Absolute pressure below absolute zero in blocks with fluid compressibility:	Error	

Ilustración 24

El fluido en cuestión es Ácido Clorhídrico, a una concentración del 30%.

Lo que significa que tendrá una Densidad = 1149 kg/m³, una Molaridad de 9.45M, una Viscosidad dinámica = 1.7 mPa*s y un Calor específico de 1.41 kJ/(kg*K).

La Viscosidad dinámica del fluido se obtiene de forma sencilla dividiendo la viscosidad dinámica entre la densidad.

Referencia [10]

A la salida de la bomba, puerto hidráulico P, se encuentran las dos tuberías de impulsión, formando un ángulo recto que eleva el fluido para desembocar en el tanque depósito, junto con otra válvula de no retorno.

Settings

Basic Parameters

Pipe cross section type:	Circular	
Internal diameter:	0.04	m
Laminar friction constant for Darcy friction factor:	64	
Pipe length:	5	m
Aggregate equivalent length of local resistances:	1	m
Internal surface roughness height:	15e-6	m
Laminar flow upper Reynolds number limit:	2000	
Turbulent flow lower Reynolds number limit:	4000	

Ilustración 25

- **Tanque Depósito:**

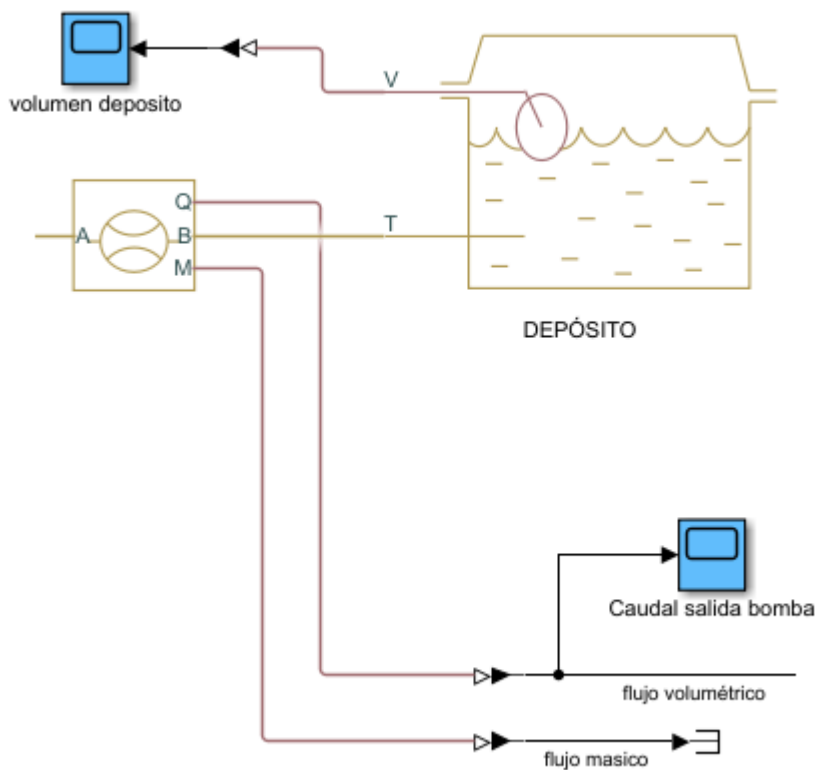


Ilustración 26

Representa la parte final del proceso, donde desemboca la tubería de impulsión, y es descargado el fluido.

El bloque del depósito es un bloque de tanque estándar donde solo definimos la variable de volumen inicial, que pondremos a cero en este caso.

En la entrada hidráulica del tanque se ha conectado un sensor de flujo, que nos dará las dos señales de salida del sistema, flujo volumétrico y flujo másico.

Se han colocado también dos Scope que nos darán las gráficas de evolución tanto del volumen de llenado del tanque depósito, como la del Caudal de salida de la bomba.

- **Variador de frecuencia:**

Para simular la regulación de velocidad que hace el variador de frecuencia, se ha utilizado la lógica difusa Fuzzy, que emplea la señal del volumen del tanque cisterna y la del caudal de salida de la bomba, para en función de éstas, dar la velocidad necesaria en cada momento del proceso.

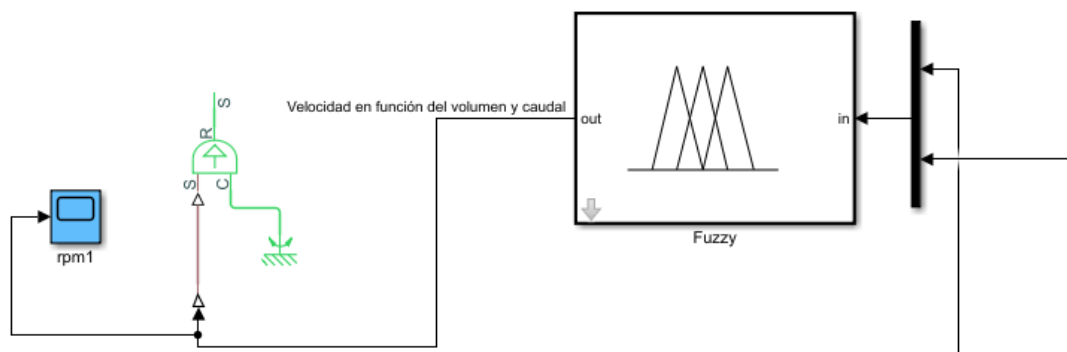


Ilustración 27

Como vemos, por medio del bloque Fuzzy al que le llegan las señales de volumen y caudal, hacemos una llamada al archivo “.fis” que hemos generado previamente y que contiene las especificaciones de la lógica difusa.

La salida de este bloque será la velocidad expresada en r.p.m. que enlazará con el bloque de la bomba centrífuga.

Fuzzy:

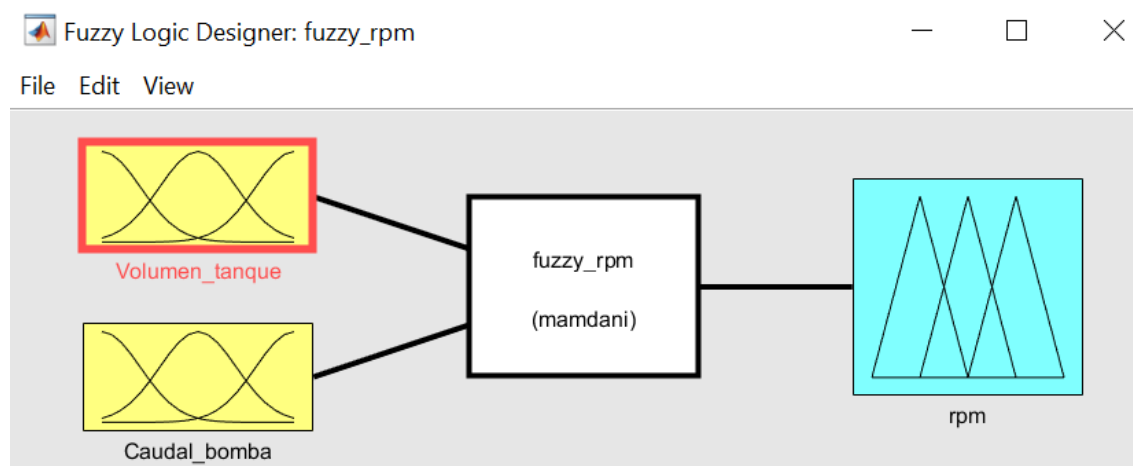


Ilustración 28

En esta imagen se puede observar la variable de entrada V, y los rangos establecidos.

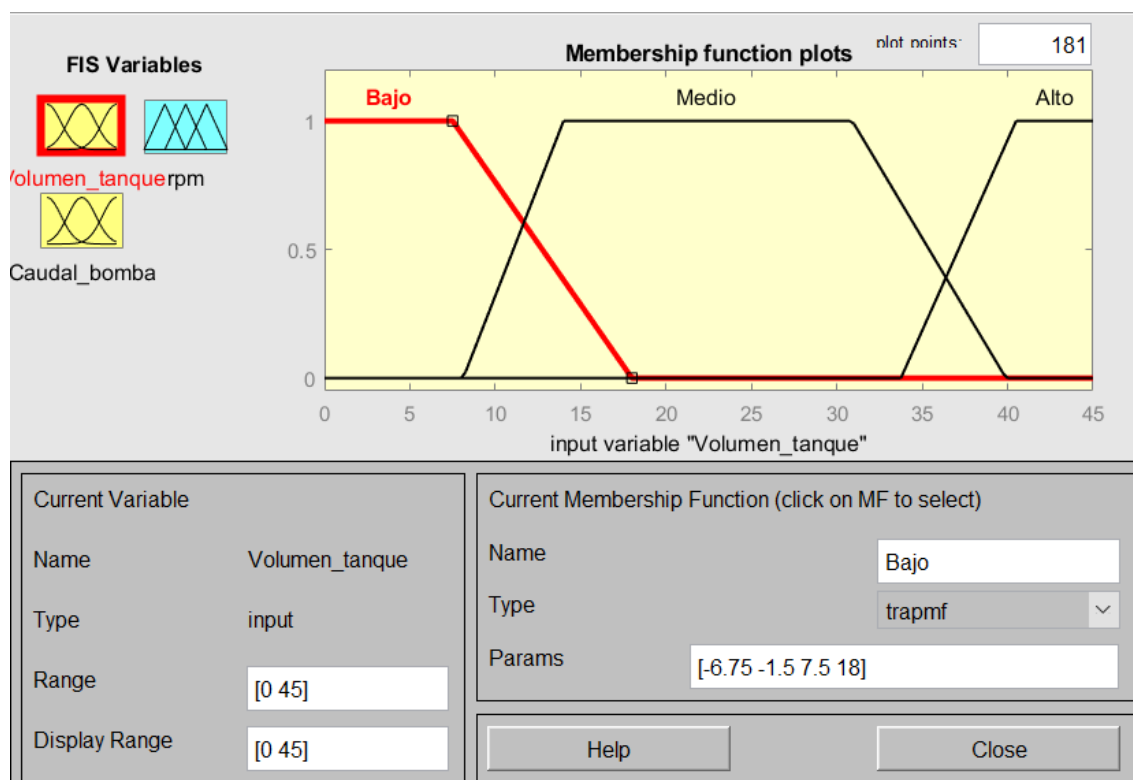


Ilustración 29

En esta imagen se puede observar la variable de entrada Q, y los rangos establecidos.

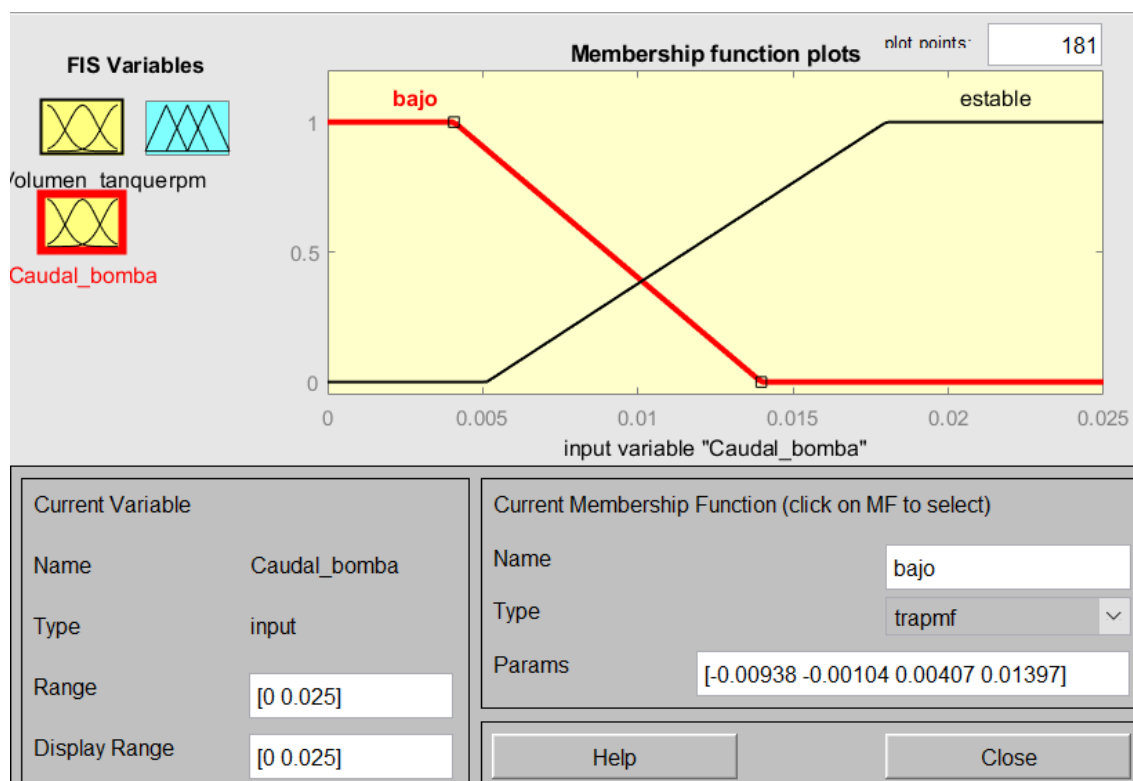


Ilustración 30

Sergio Rodríguez Valle

En esta otra vemos la variable de salida rpm.

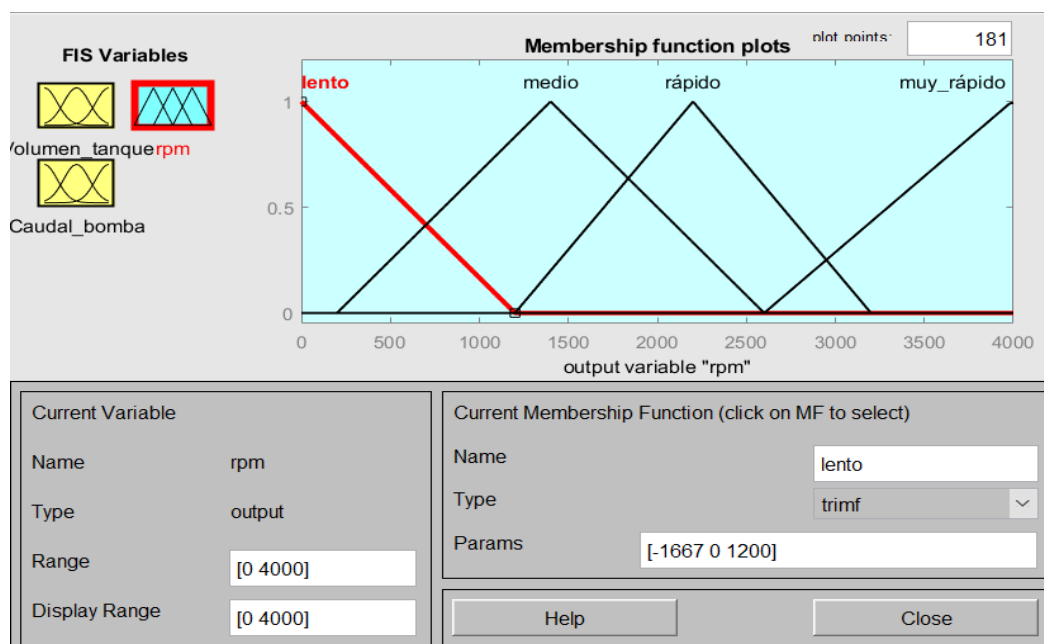


Ilustración 31

Por último, se muestran las normas en las que se basará nuestro sistema Fuzzy, y la superficie generada que las representa gráficamente:

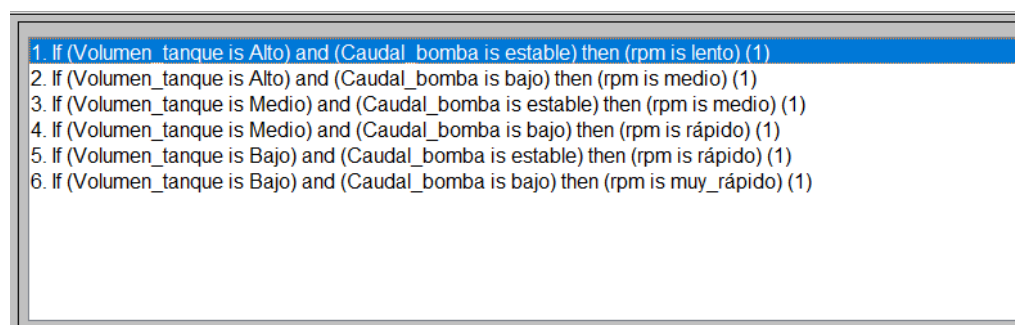


Ilustración 32

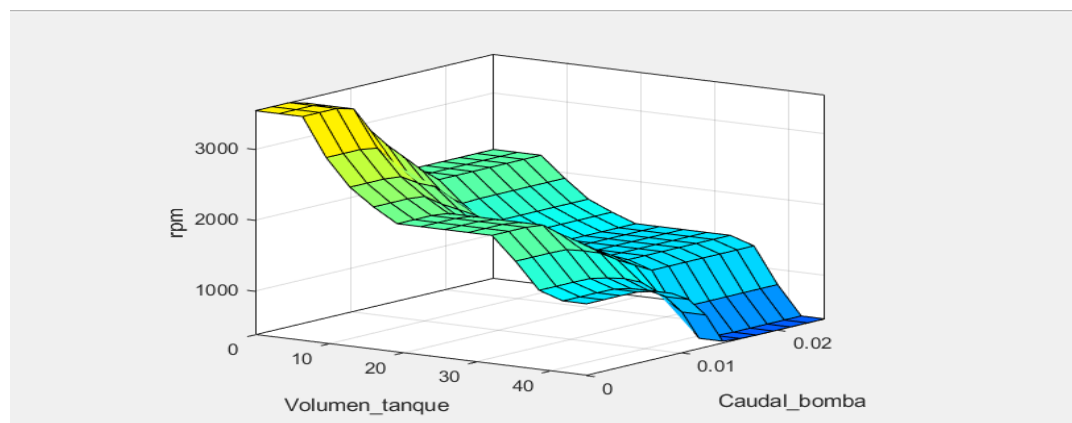


Ilustración 33

- **Verificación y paro:**

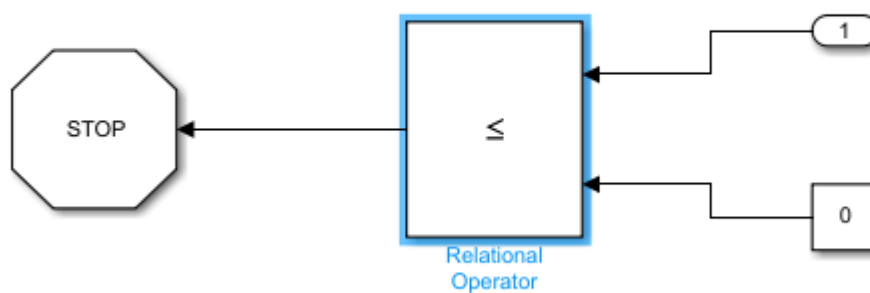
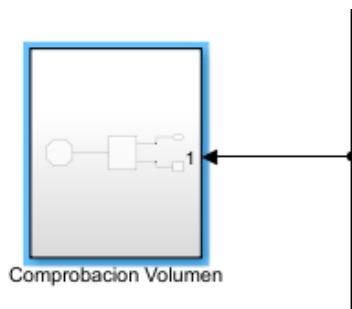


Ilustración 34

Este bloque realizará una comprobación constante de la señal de volumen del tanque cisterna, y a través de un operador relacional, comparará cuando el volumen es menor o igual a cero.

Cuando la condición se cumpla significará que ya no queda fluido en el tanque a descargar, por lo que se activará el bloque Stop, que detendrá la simulación, impidiendo que el sistema genere señales erróneas de volúmenes negativos.

- **Función Matlab:**



Ilustración 35

Por último, vemos que hay un bloque generador de funciones de Matlab, en el que hemos redactado una pequeña línea de código para generar los vectores V y H que utilizamos en el primer bloque del tanque cisterna.

Código:

```
H=[0:0.01:3];
n=length(H);
V=[0:n-1];
r=1.5;
L=6;
V_total=pi*r^2*L;

for j=1:n
    if(H(j)<r)
        V(j)=(acos((r-H(j))/r)*r^2-(r-H(j))*sqrt(2*r*H(j)-H(j)^2))*L;
    else
        V(j)=V_total-(acos((r-(3-H(j)))/r)*r^2-(r-(3-H(j)))*sqrt(2*r*(3-H(j))-(3-H(j))^2))*L;
    end
end
```

Ilustración 36

Lo primero definimos un vector de alturas que irá de cero a tres metros. Estableciendo el radio y la longitud del tanque cisterna, hallamos el volumen total del cilindro.

Lo que haremos será calcular el volumen exacto para cada una de las alturas del vector H, por medio de un “for”. Así tendremos dos vectores de la misma longitud que usaremos para modelar el bloque del tanque cisterna.

A continuación, se muestra la representación gráfica de estos vectores, que calcula la variación del volumen en función de la altura:

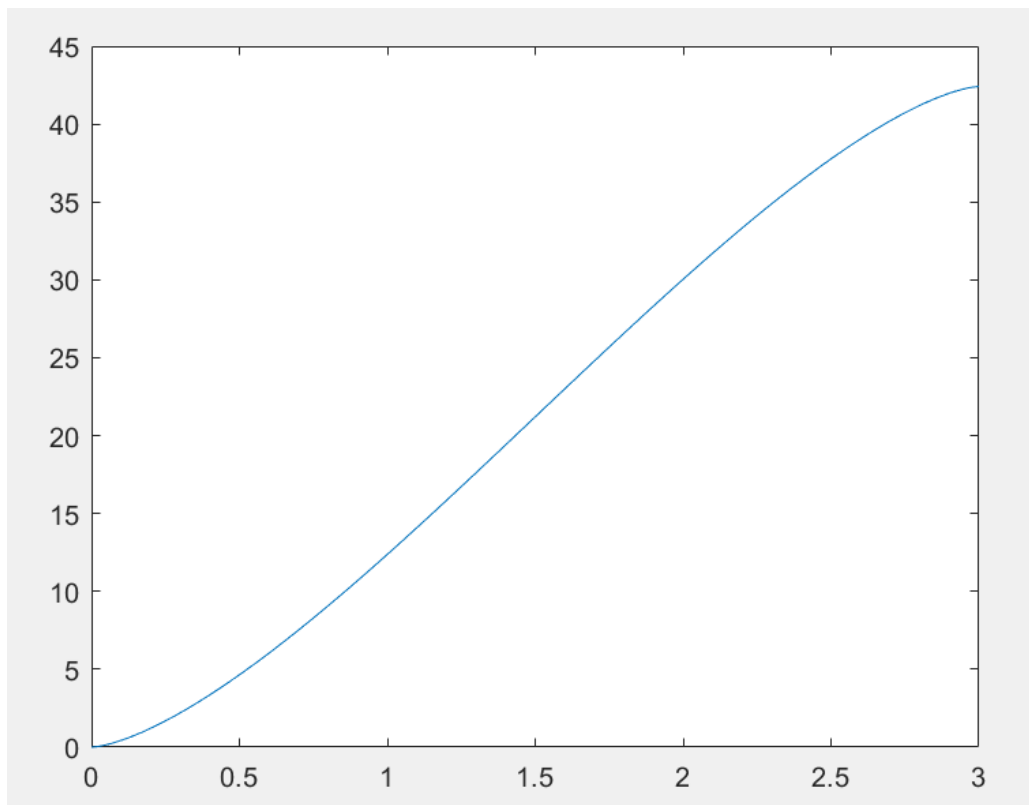


Ilustración 37

4.3. RESULTADOS

Se han realizado varios ensayos del proceso de simulación para estudiar el comportamiento del sistema según la variable principal, la altura de llenado del tanque cisterna, que variaremos para cada ensayo.

Como ya se ha explicado anteriormente, para inicializar el sistema es necesario introducir las condiciones de partida del tanque cisterna, que son la altura de llenado (H) y el volumen (V) asociado a esa misma altura.

El volumen lo podemos calcular manualmente a través de las ecuaciones que definen nuestro tanque cisterna (ilustración 1), o directamente a través del código que hemos generado previamente (ilustración 36).

- **Ensayo 1: Altura (H) = 2.6m ; Volumen (V) = 39.05m³ → 86.6% llenado.**

Se han elegido estos valores de entrada para la primera simulación, ya que son los que más frecuentemente vamos a encontrar en una situación real.

Las señales que analizaremos serán: la variación del volumen del tanque cisterna expresada en “m³”, la regulación de la velocidad que controla la bomba centrífuga (r.p.m.), el caudal de salida de la bomba (m³/s) y el volumen de llenado del tanque depósito (m³).

Volumen tanque cisterna:

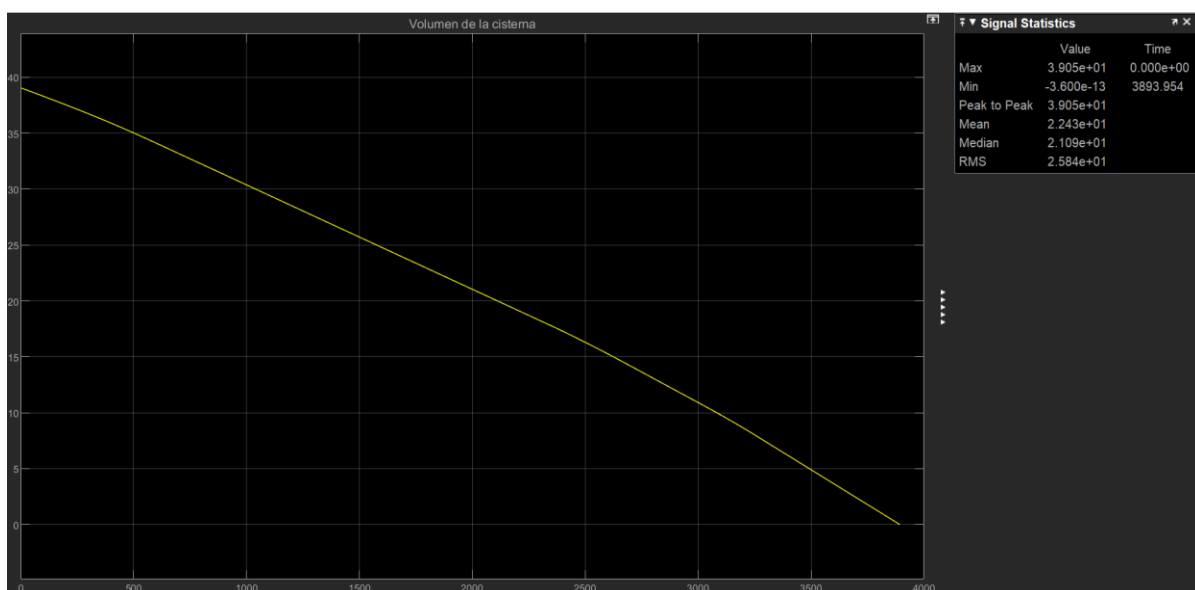


Ilustración 38

Sergio Rodríguez Valle

Observamos cómo gracias a la regulación de velocidad de nuestro sistema, la descarga de fluido se produce de forma casi lineal, sin saltos abruptos ni descensos demasiado rápidos o lentos.

El tiempo total que al sistema le lleva vaciar el tanque cisterna es de 3893.954 segundos, o lo que es lo mismo, 1 hora y 5 minutos (aprox.).

Revoluciones por minuto:

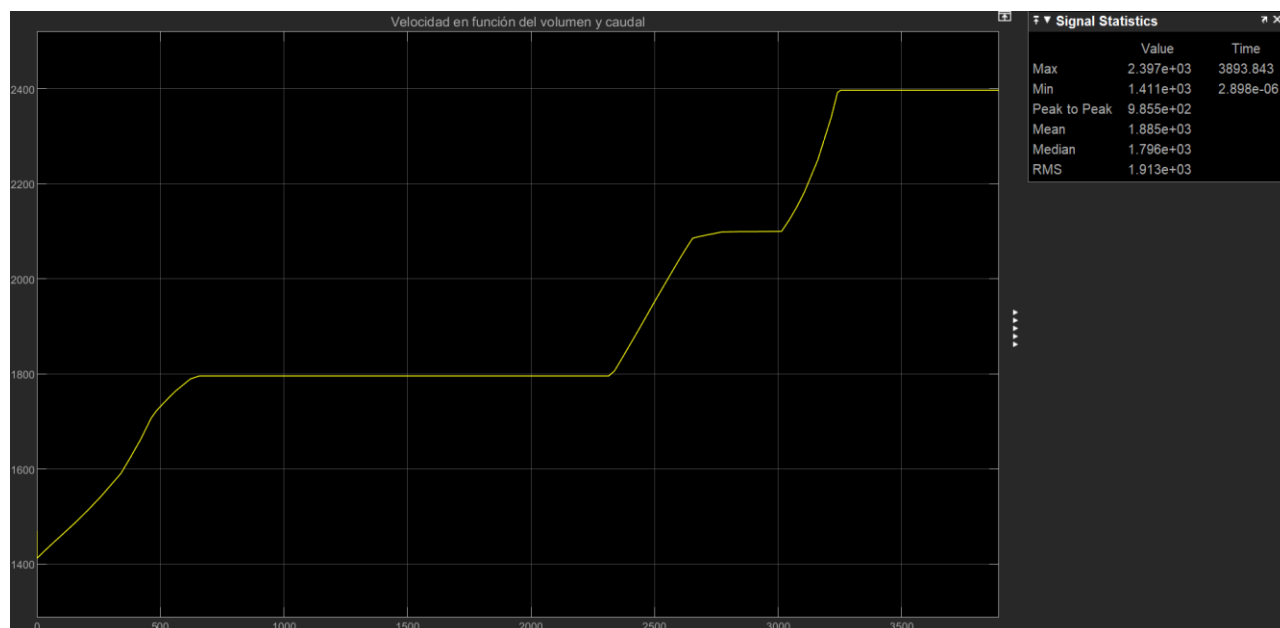


Ilustración 39

Esta señal de velocidad angular varía según la lógica difusa establecida, en función del volumen del tanque cisterna y el caudal de salida de la bomba.

El pico máximo de velocidad es prácticamente las 2400rpm mientras que el mínimo es unas 1400rpm. Por lo que la regulación de velocidad se moverá en ese rango de unas 1000 revoluciones.

Observamos que la gráfica presenta cuatro zonas diferenciadas que se dividirían de las 1400 a 1800 rpm (zona 1), seguido de una zona estable de 1800 rpm (zona 2), de 1800 a 2400 (zona 3) y la velocidad máxima de 2400 rpm (zona 4).

Esto se debe a que en los primeros momentos de la descarga el sistema no necesita de una gran velocidad para conducir el fluido, en el momento intermedio de la descarga la velocidad será más o menos constante con valores medios, mientras que a medida que el proceso llega a su fin, se aumentará la velocidad hasta su valor máximo para conseguir la descarga completa.

Sergio Rodríguez Valle

Caudal de salida bomba:

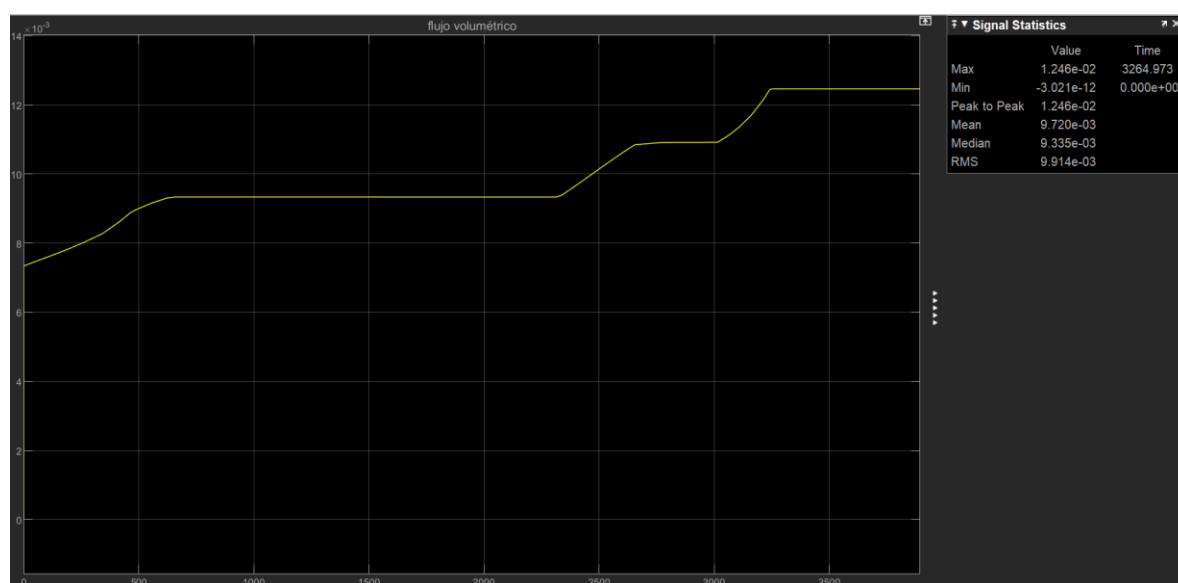


Ilustración 40

Vemos que el rango de la señal del caudal de salida no varía mucho, teniendo un valor de $0.00512 \text{ m}^3/\text{s}$ de pico a pico.

El caudal inicial empieza en unos $0.007 \text{ m}^3/\text{s}$ que asciende hasta 0.0093 manteniendo este flujo hasta el tramo final del proceso donde vuelve a ascender hasta los $0.01246 \text{ m}^3/\text{s}$ de pico máximo.

Volumen tanque depósito:

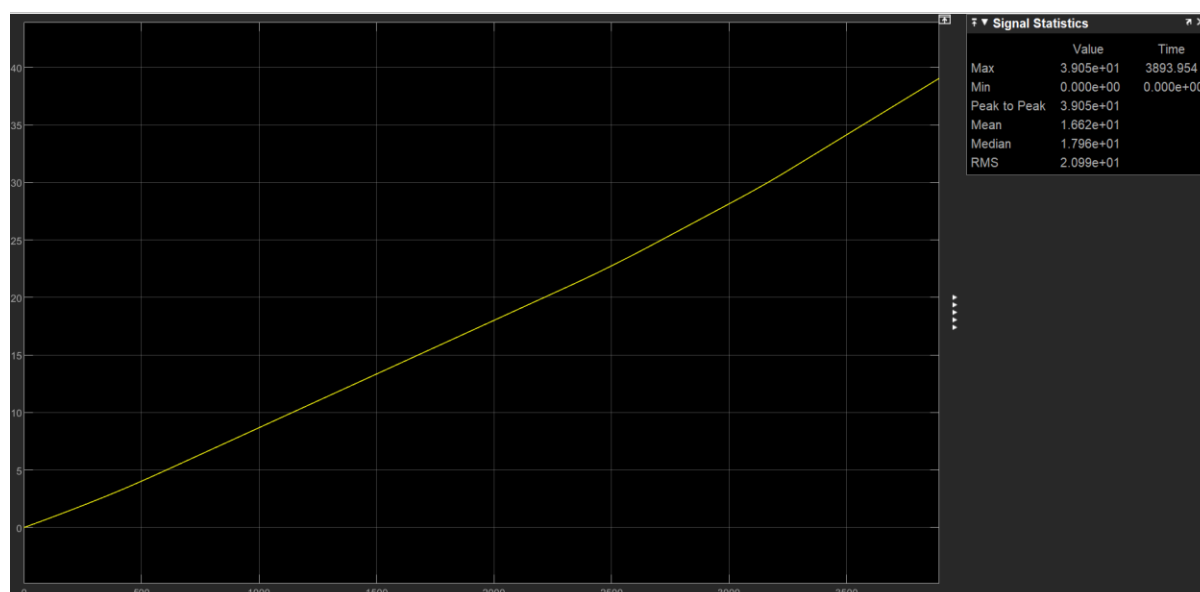


Ilustración 41

Por último, se muestra la señal de llenado del volumen del tanque depósito.

- **Ensayo 2: Altura (H) = 3m ; Volumen (V) = 42.4115m³ → 100% llenado.**

En este ensayo se simulan las condiciones máximas posibles de arranque para el proceso, lo que nos permitirá saber el tiempo máximo que durará el proceso completo de descarga, aunque rara vez encontraremos estas condiciones en la realidad.

Volumen tanque cisterna:

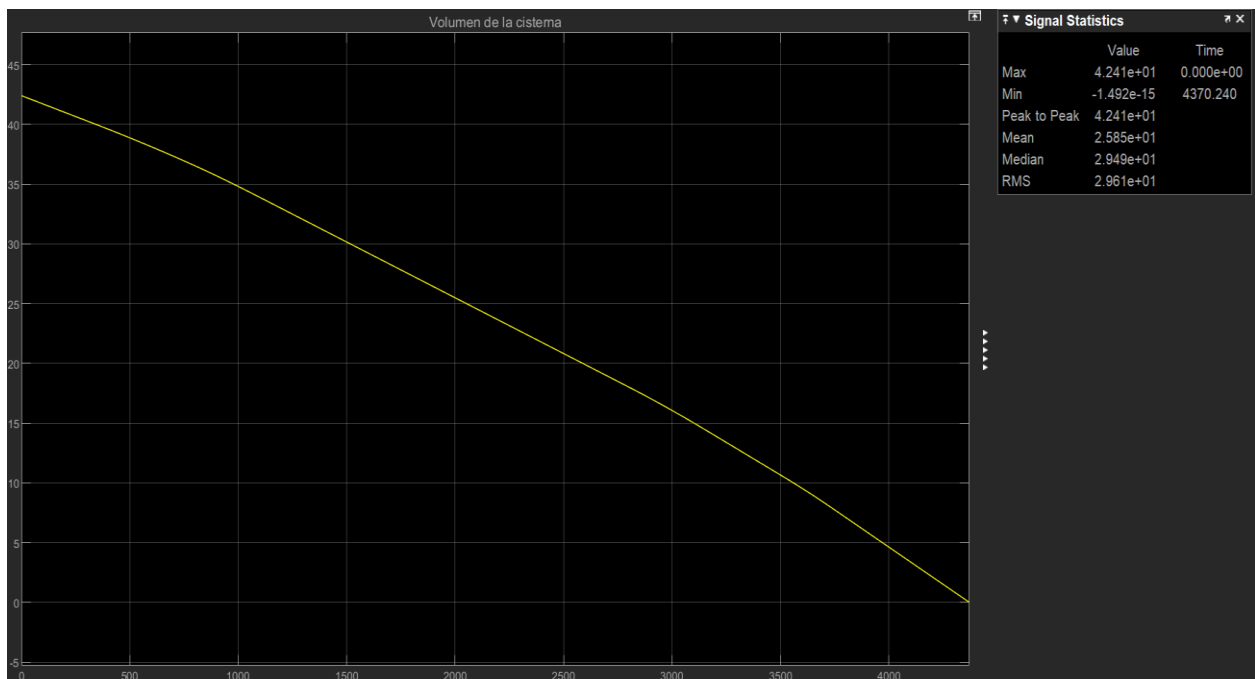


Ilustración 42

El tiempo de descarga total del fluido es de 4370.24 segundos, es decir, 1 hora y 13 minutos (aprox.).

Sergio Rodríguez Valle

Revoluciones por minuto:

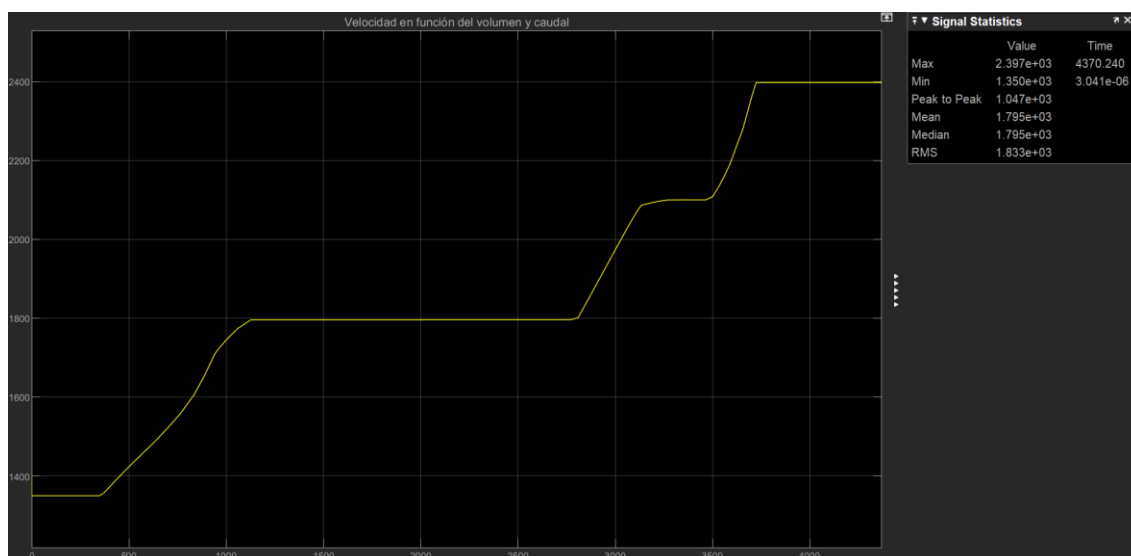


Ilustración 43

Valores similares a los del ensayo previo, con una velocidad constante de 1400rpm a lo largo de los primeros minutos de la descarga.

Caudal salida bomba:

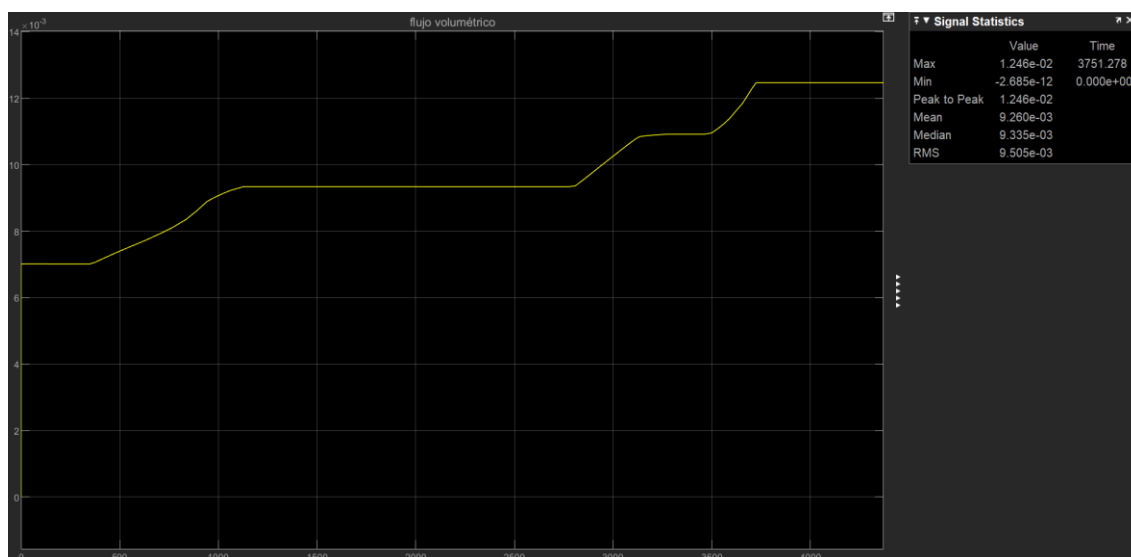


Ilustración 44

De nuevo valores similares con el caudal constante de 0.007 m³/s en los primeros momentos.

Volumen tanque depósito:

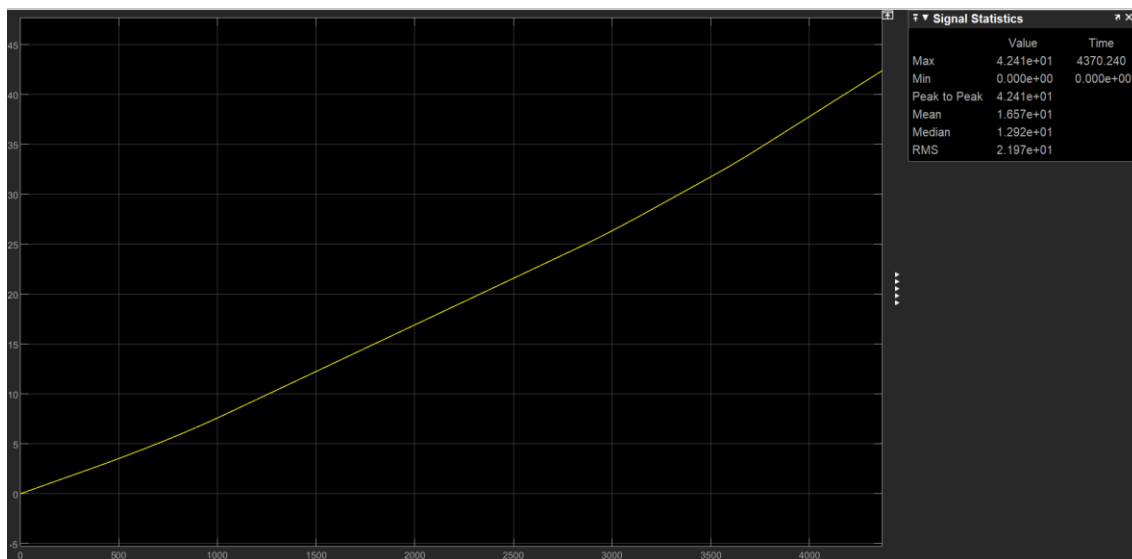


Ilustración 45

- **Conclusiones:**

Con los resultados obtenidos tanto en la simulación de un caso real como en la simulación de las condiciones máximas, podemos observar que nuestro sistema cumple con creces el objetivo para el cual fue diseñado.

Conseguimos una mejora en cuanto a los tiempos descarga observados en empresa, que son aproximadamente de entre 1 hora y media y 2 horas, mientras que nuestro sistema, para unas condiciones máximas, no llega a pasar de 1 hora y 15 minutos.

Además debido a la regulación constante de la velocidad en función del nivel del tanque cisterna, obtenemos un caudal relativamente estable a lo largo de todo el proceso, a la vez que evitamos en gran medida los problemas de cavitaciones a lo largo de las tuberías.

5. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

5.1. FLUJO DEL SISTEMA

El sistema consta de dos partes separadas por la bomba centrífuga. Una de ellas será la del tramo de aspiración, que conecta al tanque del camión cisterna con la bomba, y la otra la del de impulsión, que hace desembocar el fluido que circula a través de la bomba en el tanque depósito de la fábrica.

El fluido que se descarga del tanque cisterna, en este caso ácido clorhídrico, es succionado por la bomba centrífuga, la cual varía su velocidad en función de lo que le indica la señal recibida del variador de Frecuencia, que se encuentra alojado en un armario de fácil acceso con una botonera externa.



Ilustración 46

La bomba impulsa el fluido a través de las tuberías de impulsión y lo eleva hasta el tanque depósito, que se encuentra a una cierta altura por encima de la bomba centrífuga, para ser almacenado.



Ilustración 47

5.2. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL SISTEMA

Como se explica anteriormente, el sistema está comprendido por dos tramos que conectan con la bomba centrífuga.

A continuación, se muestra una imagen que detalla las diferentes longitudes y alturas de cada elemento.

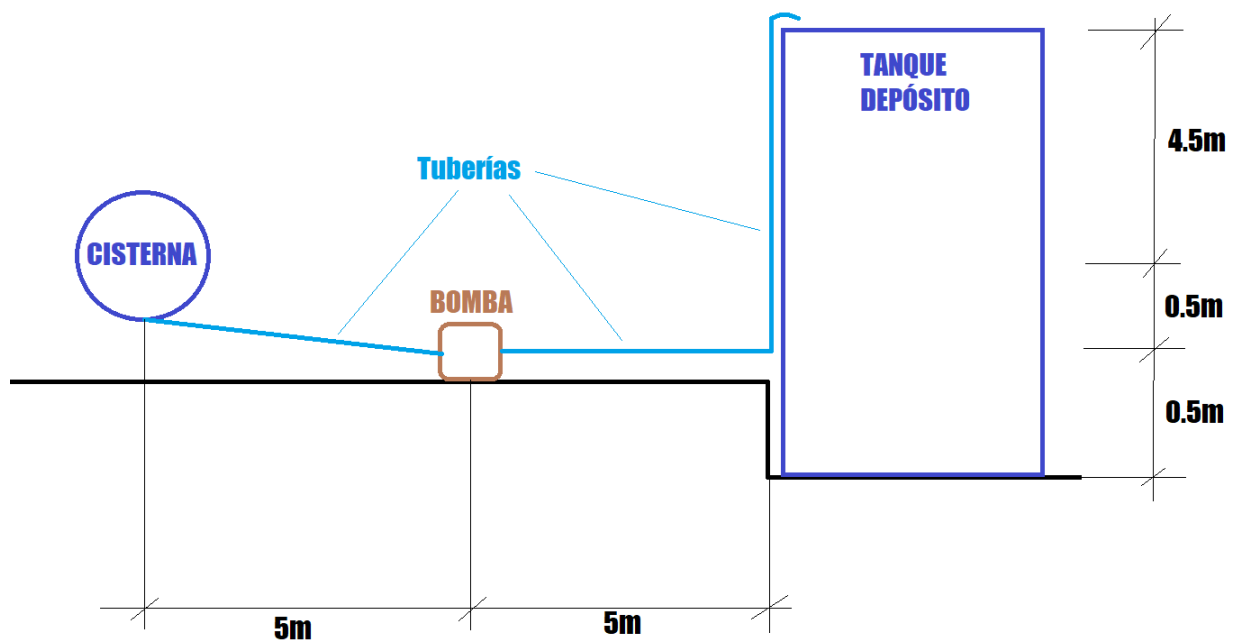


Ilustración 48

Como se puede observar (ilustración x), la distancia entre la bomba centrífuga y cada tanque es de 5 metros. En cuanto a las alturas, considerando la bomba como nivel de referencia o cota cero, tendríamos que la salida del tanque cisterna se encuentra a 0.5 metros por encima de la bomba, y el tanque depósito a 5 m por encima.

5.3. INICIALIZACIÓN

Como paso previo al comienzo del sistema, lo primero que deberá hacer el operario será conectar el tanque cisterna a la tubería de aspiración de la bomba.

A continuación, deberá dirigirse al armario del variador de frecuencia donde se encuentra la botonera, y pulsar el botón de puesta en marcha de la bomba, que da inicio al sistema.

Al haber diseñado un sistema completamente automático no se requiere que el operario realice ninguna otra acción hasta el fin de la descarga del fluido. El propio sistema se encargará de regular la velocidad de succión de la bomba centrífuga en función de la señal de altura que le envía el sensor de nivel del tanque cisterna.

5.4. POSIBLES FUENTES DE ERROR

Existe un problema común en la descarga de cisternas, que ocurre cuando el nivel del tanque es muy bajo.

Se pueden producir cavitaciones en las tuberías que hacen que la bomba centrífuga llegue a descebarse y no rinda correctamente.

Si este problema no se tiene en consideración permitiendo que el sistema siga funcionando ajeno a él, se pueden producir fallos en la bomba que provoquen incluso reducciones en su eficiencia, llegando a tener que ser reemplazadas.

Nuestro sistema previene en gran medida este error gracias a la regulación del caudal realizada mediante el control Fuzzy que regula el régimen de funcionamiento de la bomba y por tanto nos permite mantener un caudal en un rango que podemos considerar estable.

5.5. FINALIZACIÓN

El proceso finalizará cuando la señal enviada por el sensor de nivel le indique al sistema que ya no queda fluido en el tanque cisterna. Eso hará que se dé la orden de parar la bomba centrífuga y detener el proceso.

Después el operario deberá retirar los elementos del tramo de conexión de la bomba centrífuga con el tanque cisterna.

DOCUMENTO 2: PRESUPUESTO

6. PRESUPUESTO

En este documento se va a realizar un desglose de cada uno de los costes del trabajo de fin de grado, para así obtener la cuantía total del proyecto.

Para realizar el cálculo del presupuesto total, se han sumado las partidas correspondientes a la mano de obra aportada, los costes de equipos instalados en el sistema y por último los materiales y recursos empleados.

No se ha tenido en cuenta el coste de las pertinentes licencias del programa usado para realizar la simulación, ya que han sido suministradas por la Universidad.

6.1. MATERIAL EMPLEADO EN EL PROYECTO

- Sensor incorporado al camión cisterna.
- Tubería de aspiración.
- Bomba centrífuga.
- Tuberías de impulsión.
- Variador de frecuencia.
- Válvulas de paso.

6.2. SALARIO DE LOS TRABAJADORES

Para realizar el proyecto se han llevado a cabo tareas de búsqueda de información, de evaluación de resultados, de síntesis y conclusiones de los resultados obtenidos, así como de observación y estudio de los sistemas similares empleados en las empresas donde he realizado mis prácticas académicas, todas ellas se contemplan a la hora de realizar el presupuesto que se calcula en este documento.

Para realizar estas tareas, ha sido necesaria la aportación de horas de trabajo de, en primer lugar, un estudiante de Ingeniería Electrónica Industrial y Automática, y de un técnico de producción.

El estudiante ha realizado su trabajo mediante un contrato en prácticas con la empresa GLOBAL STEEL WIRES Tycsa y Birla Carbon Spain, por el que ha percibido un total de 500€ brutos mensuales, durante un periodo de 6 y 3 meses respectivamente.

Para el cálculo del coste de las horas del técnico de producción, se estipula un valor de 30€/h.

6.3. COSTES DE EQUIPOS Y SISTEMAS

Los equipos que se han tenido en cuenta para el cálculo del presupuesto se detallan a continuación:

- Sensor de nivel SIEMENS 7ML5221-1BB11, PBT, 20mA.
- Bomba centrífuga ARBO KR-40-125-IEC90L.
- Variador de frecuencia de la marca Danfoss VLT Refrigeration Drive FC 103.
- Tres tramos de tuberías de PVC.
- Dos Válvulas de regulación 3531 de la marca SAMSON.

Para calcular el presupuesto total, se hará uso de la amortización de cada equipo, que representa el precio por hora. Para el cálculo de la amortización se hará uso de la ecuación que se expone a continuación:

$$\text{€/h} = \frac{\text{COSTE}}{\text{AÑOS DE VIDA ÚTIL} * \text{HORAS DE USO AL AÑO}}$$

Se ha establecido un valor de 400 horas de uso al año para cada uno de los equipos y sistemas. Y aplicando la ecuación anterior, en la siguiente tabla se ven calculadas las amortizaciones.

	Coste	Vida útil	Amortización
	€	Años	€/h
Sensor de nivel	800,00	6	0,33
Bomba centrífuga	300,00	4	0,1875
Variador frecuencia	500,00	6	0,2083
Tuberías x3	210,00	10	0,0525
Válvulas x2	100,00	6	0,0416

6.4. PRESUPUESTO TOTAL

En la siguiente tabla se calcula el coste total de cada una de las partidas, así como el montante total.

MANO DE OBRA	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Importe
Ingeniero en practicas	Horas	300	3,121	936,30
Técnico producción	Horas	50	30	1500,00
TOTAL MANO DE OBRA				2436,30

EQUIPOS Y SISTEMAS	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Importe
Sensor de nivel	Unidad	1	800	800,00
Bomba centrífuga	Unidad	1	300	300,00
Variador de frecuencia	Unidad	1	500	500,00
Tuberías	Unidad	3	70	210,00
Válvulas	Unidad	2	50	100,00
TOTAL EQUIPOS Y SISTEMAS				1910,00

COSTE DIRECTO		4346,3 €
COSTE INDIRECTO	6%	260,78 €
IVA	21%	912,73 €
TOTAL		5519,81 €

Por tanto el montante total del presupuesto asciende hasta la cifra de “**cinco mil quinientos diecinueve euros con ochenta y un céntimos**”, de los cuales:

- **2436,3 €** son destinados a recursos humanos.
- **1910,00 €** son destinados al coste de equipos y sistemas.

Además se encuentran incluidos en montante total:

- Un 6% de costes indirectos, que suponen **260,78 €**.
- Un 21% de IVA, que suponen **912,73 €**.

7. BIBLIOGRAFÍA

Referencia [1] Cálculo del Volumen de un cilindro tumbado:

<https://www.disfrutalasmaticas.com/geometria/cilindro-horizontal-volumen.html>

Referencia [2] Modelado de un sensor de nivel:

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4762998>

Referencia [3] Modelado de una bomba centrífuga:

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27540/Trabajo%20Final%20de%20Master.pdf?sequence=1>

Referencia [4] Modelado de un Variador de Frecuencia:

<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/19141>

Referencia [5] Sensor de nivel elegido:

<https://es.rs-online.com/web/p/sensores-de-nivel/4937186/>

Referencia [6] Bomba centrífuga usada:

<https://www.michael-smith-engineers.co.uk/mse/uploads/resources/literature/ARBO/1.1-Leaflet-ARBO-Sealpro-KR-EN-resize.pdf>

Referencia [7] Variador de frecuencia seleccionado:

<https://www.danfoss.com/es-es/products/dds/low-voltage-drives/vlt-drives/vlt-refrigeration-drive-fc-103/#tab-documents>

Referencia [8] Tuberías empleadas en la instalación:

<https://tienda.aldimosa.com/pvc/tuberia-pvc-presion/ferroplast-tub-presion/2059-mts-tubo-pvc-presion-40-10-atm.html>

Referencia [9] Válvula de regulación elegida:

<https://www.directindustry.es/prod/samson/product-11609-2024344.html>


Referencia [10] Datos del fluido que se emplea durante el proceso:

Datos otorgados por la empresa GSW Tycsa.

ANEXO A: PLANOS ELECTRICOS

TYCSA

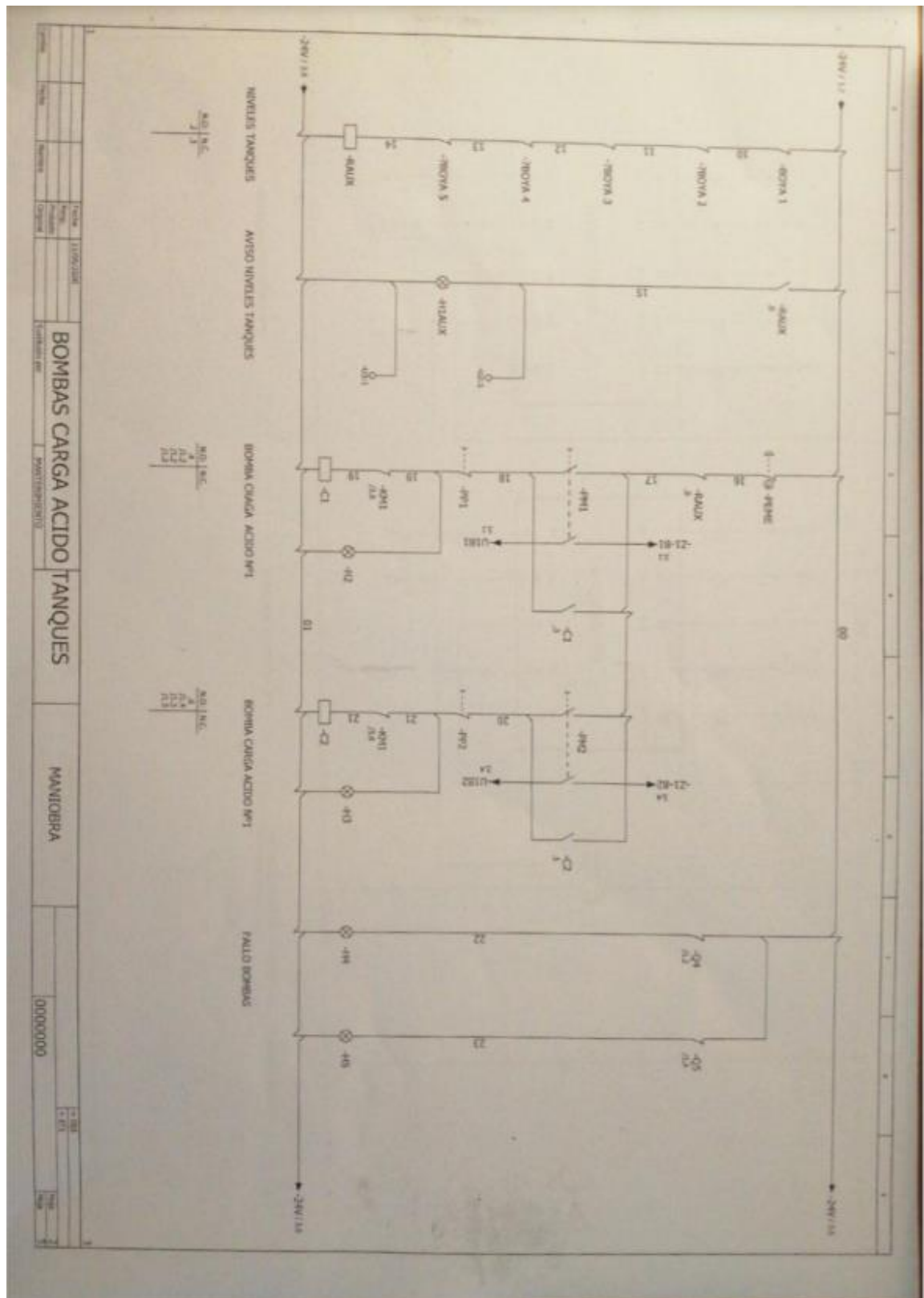
An der alten Ziegelei 2
D-40789 Monheim
Tel. +49 (0)2173 - 39 64 - 0

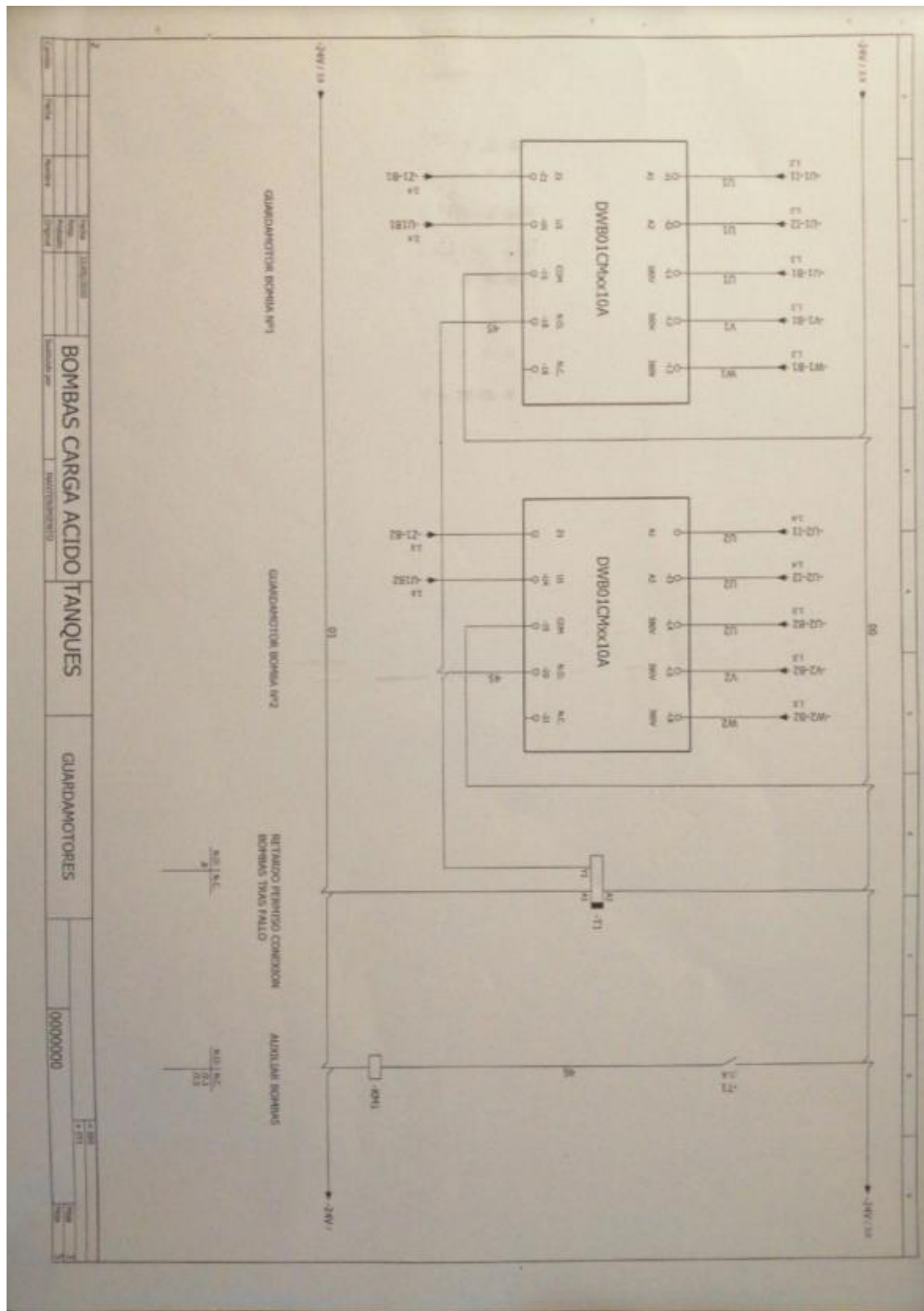


EPLAN

<p>Empresa/cliente</p> <p>Descripción de proyecto</p> <p>Número de diseño</p> <p>Comisión</p>	<p>TYCSA</p> <p>BOMBAS CARGA ACIDO TANQUES</p> <p>0000000</p> <p>MANTENIMIENTO</p>
<p>Fabricante (empresa)</p> <p>Ruta</p> <p>Nombre de proyecto</p> <p>Producto</p> <p>Tipo</p> <p>Lugar de instalación</p> <p>Responsable del proyecto</p> <p>Particularidad de pieza</p>	<p>TYCSA</p> <p>Proyecto de ejemplo EPLAN</p> <p>BOMBAS ACIDO DECAPADO</p> <p>ACIDO</p> <p>AT78</p> <p>DECAPADO</p>
<p>Creado</p> <p>Modificado</p>	<p>20/05/2020</p> <p>22/05/2020</p> <p>de (abreviatura) Mantenimiento</p>
<p>Número de páginas: 5</p>	







ANEXO B: DATASHEET BOMBA



ARBO
Pompen en Filters b.v.



ARBO Chemical pumps

SealPro with mechanical seal

Product group 1.1




ARBO
 Pompen en Filters b.v.

Product group 1.1

Chemical pumps SealPro

Applications

For all transport or circulation duties of corrosive liquids, even high viscosity, with maximum efficiency.

This series of pumps is equipped with a state of the art semi-open impeller with pressure release.

It is fixed onto the shaft independent from the direction of rotation.

Materials

Standard is the material **PPH** that covers a very wide range of duties.

For highly abrasive liquids (high % of solids), at special order, impellers or housing parts of High modulus **HMPE** are available.

For highly corrosive mixtures at higher temperatures even a pump housing entirely made of virgin **PTFE** is available.



Technical details pumps	
Design pressure	PN4
Design standard (BG5)	DN 24.256 - EN 22586 - ISO 2858
Max. system pressure	1.5 Bar with standard seal, 6 Bar optional
Min. flow	1 m ³ /h
Max. flow	50 m ³ /h
Max. head	45 m (60 Hz)
Max. viscosity	500 mPas
Max. solid size	2 mm
Technical details motors	
Standard	Three-phase, multi-voltage, TEFC
High efficiency	IE2 efficiency level acc. IEC60034-30
Continuous duty	S1
Multi Voltage up to IEC100	220-240/380-415V 50 Hz // 440-480 V 60 Hz
Multi Voltage above IEC100	380-415V/ 660V 50 Hz // 440-480 V 60 Hz
Protection class	IP55 (IEC 34-5) NEN-EN 60034-5
Insulation Class	F* (ΔT=80 C)
Max. ambient temperature	-30 to 40°C, at 1000 m.a.s.l.
Max. relative humidity	< 95%
Optional available	
Other voltages	1. 480 V/ 3 Ph/ 60 Hz
Other insulation	1. Tropicalized
PTC Thermistors	on windings
Water and/or dust protection	IP56, IP65, IP66, IPW56, IPW65 or IPW66

Materials of construction	Abbreviation	T min. °C	T max. °C
Polypropylene	PP	0	80
High Modulus Polyethylene	HMPE	-50	80
Polyvinylidene fluoride	PVDF	-30	120
Polytetrafluorethene	PTFE	-30	120

Materials of elastomers	Abbreviation	T min. °C	T max. °C
EPDM	E	-40	150
Viton	V	-25	220
Polytetrafluorethene	T	-190	260

Materials of connections	Abbreviation
Male straight pipe thread	R
DIN2501 PN10 Flanges	F
B-D Unions +GF+	U

Ordering code (P.I.C.)

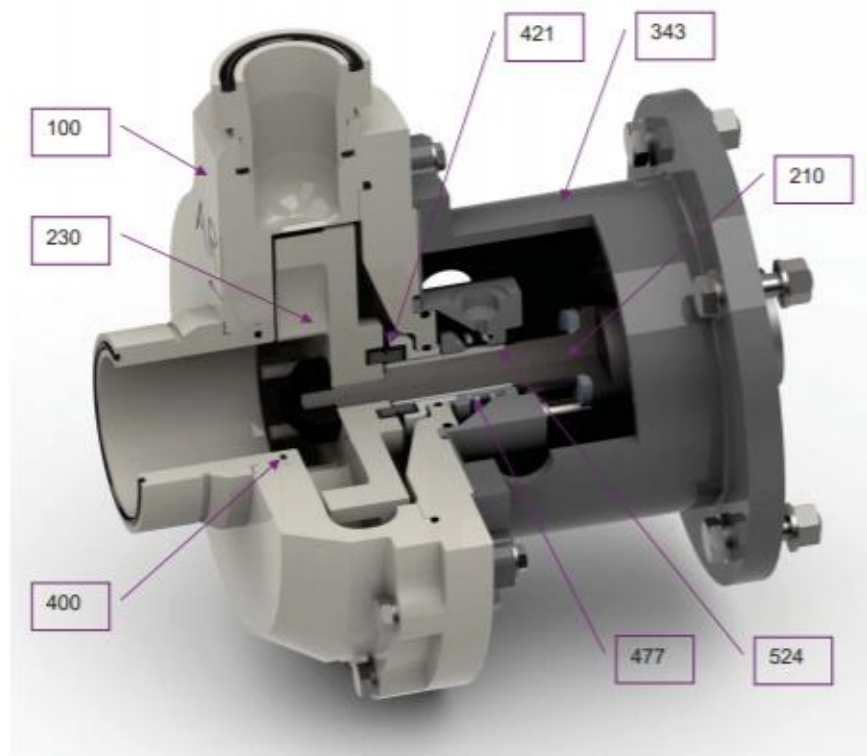
Pump			Materials					Motor						
Model	Discharge size (d)	Pump housing size	Material wetted parts	Impeller	Seal motor	Seal stator	Double seal	Gaskets	Pole	Power	Voltage	Phase	Frequency	Also
KR	15	85	PP	PP	TG	SI		2	E	2	0.18, 0.25	2	1	5
	20	95	PVDF	PVDF	SI				V	4	0.37, 0.55	3	3	6
	25	125	HMPE	HMPE					T		0.75, 1.1	4		
	32	160									1.5, 2.2	6		
	40										3.0, 4.0			
	50										5.5, 7.5			



Chemical pumps SealPro Product group 1.1

20140624EN/1


ARBO
 Pompen en Filters b.v.

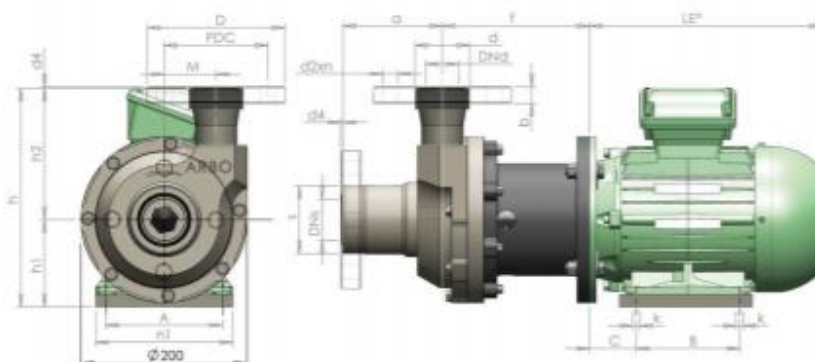
MATERIALS OF CONSTRUCTION


Pos.	Description	Standard	Alternative		
100	Housing parts	PPH	HMPE	PVDF	PTFE
210	Pump shaft	SS-316			
230	Impeller	PPH	HMPE	PVDF	PTFE
	Impeller type	Semi-open			Turbine
343	Pump bracket	Plastic PPG			
400	Gaskets	EPDM	VTION	V/PTFE encapsulated	
421	Type mechanical seal	Single inner			double with flush
	Mechanical seal	PTFE-glas/SIC			SIC/SIC
477	Pressure spring	Hast. C			
524	Shaft protecting sleeve	PTFE-glas			
800	Motor	2, 4 or 6 pole			
900	Fasteners	SS-316			



ARBO
Pompen en Filters b.v.

DIMENSIONS / WEIGHTS SealPro KR-BG2-4



KR	Motor	Dimensions pump without motor (mm) *										Impeller Ø mm		Pump KG*		Box size
type	IEC	a	ht	h2	h	M	DNd	d**	DNs	s**	f	Min.	Max.	PPPE	PVDF	CM
15-85	63M	69	71	102	173	46	15	1"	15	1"	117	70	85	2,5	3	43x32x27
20-85	63M	66	71	124	195	46	20	1 1/4"	20	1 1/4"	117	70	85	2,5	3	43x32x27
25-95	71M	74	86	127	213	46	25	1 1/2"	25	1 1/2"	117	70	95	2,5	3	43x32x27
32-95	71M	74	86	127	213	46	32	2"	32	2"	117	70	95	2,5	3	43x32x27
40-40-125***	80M	120	105	158	263	63	40	2 1/4"	40	2 1/4"	177	85	125	5	6	81x41x42
40-125	80M	120	105	158	263	63	40	2 1/4"	50	2 3/4"	177	85	125	5	6	81x41x42
40-125	90S	120	105	158	263	63	40	2 1/4"	50	2 3/4"	177	85	125	5	6	81x41x42
40-125	90L	120	105	158	263	63	40	2 1/4"	50	2 3/4"	177	85	125	5	6	81x41x42
40-40-125***	90L	120	105	178	283	63	40	2 1/4"	40	2 1/4"	177	85	125	5	6	81x41x42
40-40-125***	100L	120	132	178	310	63	40	2 1/4"	40	2 1/4"	197	85	125	7	8	81x41x42
50-125	90S	120	105	160	265	63	50	2 3/4"	65	2 3/4"	177	85	125	5	6	81x41x42
50-125	90L	120	105	160	265	63	50	2 3/4"	65	2 3/4"	177	85	125	5	6	81x41x42
50-125	100L	120	132	160	292	63	50	2 3/4"	65	2 3/4"	197	85	125	7	8	81x41x42

* for motor dimensions and weights refer to motor specification sheet

** Male straight pipe thread

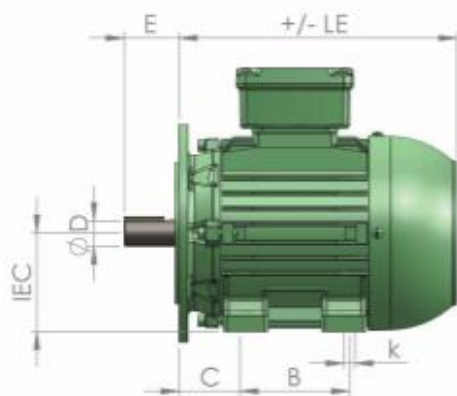
*** 100% interchangeable with old model KR-200-TW

Flange dimensions according DIN2501 PN10

DN	G"	D	PDC	d4	b	d2xn
15	1"	95	65	3	19	14x4
20	1 1/4"	105	75	3	19	
25	1 1/2"	115	85	3	19	
32	2"	140	100	3	19	18x4
40	2 1/4"	150	110	3	20	
50	2 3/4"	165	125	3	24	
65	2 3/4"	185	145	3	24	




ARBO
 Pompen en Filters b.v.

DIMENSIONS / WEIGHTS Foot/flange motor IMB35 IM2001


Motor IEC	1450 min ⁻¹ kW	Weight +/- Kg	* I _n A	2900 min ⁻¹ kW	Weight +/- Kg	* I _n A	A (mm)	n1 (mm)	B (mm)	C (mm)	k (mm)	D (mm)	E (mm)	LE (mm)
56	-	-	-	0,12	3,1	0,44	90	110	71	35	6	Ø9	20	178
63M	0,18	7	0,56	0,18	6,2	0,51	100	120	80	40	8	Ø11	23	195
63M	-	-	-	0,25	6,5	0,69	100	120	80	40	8	Ø11	23	195
71M	-	-	-	0,37	6,7	1,05	100	120	90	45	8	Ø14	30	220
71M	-	-	-	0,55	8,3	1,45	100	120	90	45	8	Ø14	30	220
80M	0,55	11	1,27	0,75	10	1,8	125	150	100	50	10	Ø19	40	240
80M	0,75	14	1,63	1,1	14	2,3	125	150	100	50	10	Ø19	40	240
90S	1,1	19	2,4	1,5	17,5	3,14	140	165	100	56	10	Ø24	50	255
90L	1,5	22	3,26	2,2	21	4,58	140	165	125	56	10	Ø24	50	280
100L	2,2	31	4,64	3	28	5,92	160	195	140	63	12	Ø28	60	320
112M	-	-	-	4	38	7,72	190	185	140	70	12	Ø28	60	365
112M	-	-	-	5,5	42	10,5	190	185	140	70	12	Ø28	60	365
L112M	-	-	-	7,5	45	14,5	190	195	140	70	12	Ø28	60	365